

**OPTICAL PULSE TIMING DETECTING CIRCUIT AND OPTICAL TIME-DIVISION MULTIPLEXING DEVICE**

Patent Number: JP2001053684  
Publication date: 2001-02-23  
Inventor(s): NONAKA KOJI; UCHIYAMA KENTARO; TAKARA HIDEHIKO  
Applicant(s): NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
Requested Patent: ☐ JP2001053684  
Application Number: JP19990225792 19990809  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H04B10/152; H04B10/142; H04B10/04; H04B10/06; H04J14/08  
EC Classification:  
Equivalents:

**Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To actualized high-precision stability in a time domain by instantaneously observing and correcting variation in signal arrival timing due to physical expansion and contraction in a signal propagation direction caused by temperature variation of a long-size optical component, etc., without any expensive very-fast electric circuit.

**SOLUTION:** An optical pulse cross-correlation reception part 32 detects an increase or decrease of overlap components between a reference optical pulse string and a signal light pulse string at a measurement position. The reception part 32 has an optical coupling part 34 which couples the reference light pulse string and signal light pulse string with each other, a couple of sum frequency light receivers 36 and 37 composed of nonlinear crystal which generates a sum frequency by inputting coupled pulses, a photodetecting element which generates two-photon absorption electric power, etc., a signal comparison part 38 which inputs the outputs of the receivers, etc. The signal comparison part 38 can specify the quantity and correction direction (increasing or decreasing) of delay to be corrected only by comparing two cross-correlation signal values. The correction signal of the signal comparison part 38 is fed back to an optical delay control circuit 31 to correct the delay quantity and correction direction.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-53684

(P2001-53684A)

(43) 公開日 平成13年2月23日 (2001.2.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 4 B	10/152	H 0 4 B 9/00	L 2 F 0 6 5
	10/142	G 0 1 B 11/16	Z 5 K 0 0 2
	10/04	H 0 4 B 9/00	D
	10/06		
H 0 4 J	14/08		

審査請求 有 請求項の数23 O L (全 25 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願平11-225792	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(22) 出願日	平成11年8月9日 (1999.8.9)	(72) 発明者	野中 弘二 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	内山 健太郎 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日 本電信電話株式会社内
		(74) 代理人	100077481 弁理士 谷 義一 (外1名)

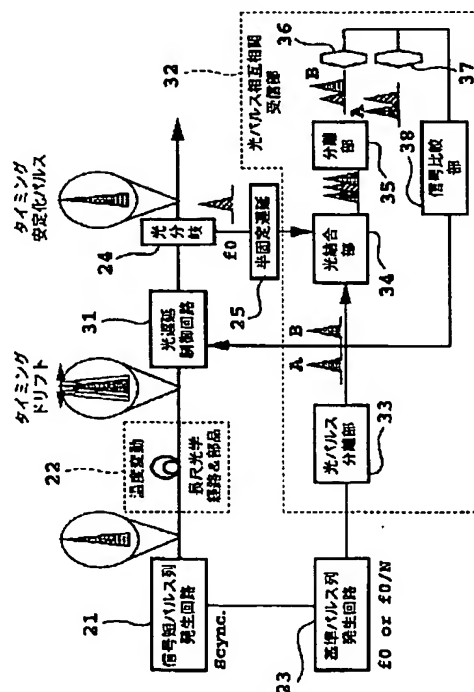
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光パルスタイミング検出回路及び光時分割多重装置

(57) 【要約】

【課題】 長尺光学部品の温度変化等起因する信号伝搬方向の物理的伸縮による信号到達タイミングの変動を高価な超高速電気回路なしに瞬時に観測して補正し、時間領域での高精度な安定性を実現する。

【解決手段】 計測位置で基準光パルス列と信号光パルス列の相互の重なり成分の増減を光パルス相互相関受信部32で検出する。光パルス相互相関受信部32は基準光パルス列と信号光パルス列を結合する光結合部34と、結合したパルスを入力して和周波を発生する非線形結晶や2光子吸収電力を発生する受光素子等からなる一対の和周波光受信器36、37と、その受信器の出力を入力する信号比較部38等を有する。信号比較部38は2つの相互相関信号値を比較するだけで補正すべき遅延量、補正方向（遅延を増やすか減らすか）を高精度に特定することができる。信号比較部38の補正信号は光遅延制御回路31へフィードバックされて遅延量、補正方向が補正される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 時間基準となる繰り返し周波数  $f_0/N$  の基準光パルス列と、該基準光パルス列と同じ繰り返し周波数または  $N$  倍の繰り返し周波数  $f_0$  の信号光パルス列を入力する光パルスタイミング検出回路において、前記信号光パルス列を分岐する分岐手段と、前記分岐手段の一方の出力を入力し、前記基準光パルス列と前記信号光パルス列の時間位置関係が一部重なるように設定する半固定遅延手段とを具備し、前記半固定遅延手段の出力と前記基準光パルス列を合波する光結合手段と、前記光結合手段の出力を受信して光パルス列間の重なり成分を観測する光受信器と、前記光受信器の出力の増減を検出する識別回路とから構成される光パルス相互相関受信手段を具備することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光パルスタイミング検出回路において、前記光受信器は複数パルスの重なりによって発生する和周波光の発生部と、該和周波光の波長に感度の高い受信器とを含む和周波光受信器であり、前記識別回路は該和周波光受信器の信号出力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光パルスタイミング検出回路において、前記光結合手段は前記基準光パルス列と前記信号光パルス列の両パルス列を同一直線偏光方向で結合し、前記光受信器は同一直線偏光方向のパルス列間の相互作用により光信号を発生するタイプ 1 型の和周波光発生材料と、入力光波長よりも短波長に感度を持つ受信器とを含み、前記識別回路は比較する 2 つの光パルス列間の重なり成分による和周波光の発生出力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の光パルスタイミング検出回路において、前記光受信器は基本光波長には感度が低く、入力光波長よりも短波長に高い感度を持つ受信器を使用し、前記識別回路は比較する 2 つの光パルス列間の重なり成分による 2 光子吸収電力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の光パルスタイミング検出回路において、前記光受信器は同一直線偏光方向のパルス列間の相互作用により光信号を発生するタイプ 1 型の和周波光発生材料と、基本光波長には感度が低く、入力光波長よりも短波長に高い感度を持つアバランシェフォトダイオード受信器

とを含み、

前記識別回路は比較する 2 つの光パルス列間の重なり成分による和周波光出力の増減と 2 光子吸収電力の増減の両者の和を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の光パルスタイミング検出回路において、

前記光結合手段は複数の入出力ポートをもつ偏光ビームスプリッタを用い、該偏光ビームスプリッタの異なる面から前記基準光パルス列と前記信号光パルス列を入射して互いに直交する直線偏光で両パルス列の合波を行い、前記光受信器は前記信号光パルス列および前記基準光パルス列の偏光方向が互いに直交しているときに位相整合して和周波光を発生するタイプ 2 型の和周波光発生材料と、該和周波光を透過して基本波長を遮断するフィルタと、基本光波長には感度が低く、入力光波長よりも短波長に高い感度を持つ受信器とを含み、

前記識別回路は比較する 2 つの光パルス列間の重なり成分による和周波光の発生出力の増減を検出することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の光パルスタイミング検出回路において、

前記分岐手段は前記基準光パルス列および前記信号光パルス列の一部をモニタ用に分岐し、前記信号光パルス列の強度の変動を補償する出力強度固定光増幅器と、前記識別回路の出力信号値に対応して遅延制御信号を出力する遅延制御手段と、を有することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 8】 請求項 1 に記載の光パルスタイミング検出回路において、

前記信号光パルス列（光周波数  $w_1$ ）と異なる光周波数（ $w_2$ ）を持ち時間的に同期した繰り返し周波数  $f_0/N$  の光パルス列を前記基準光パルス列として用い、前記光結合手段は前記基準光パルス列と前記信号光パルス列を同一直線偏光方向で結合することで両光パルス列を合波し、

前記光受信器は入射した 2 つの光パルス列間の相互作用により 4 光波混合信号光を発生する 3 次の非線形光学材料と、基準光周波数  $w_1$  と信号光周波数  $w_2$  を透過せずに、両者の位相共役波光周波数（ $(2 \times w_1 - w_2)$  または  $(2 \times w_2 - w_1)$ ）を透過する波長フィルタと、基本波長の近傍で感度が高い受信器とを含み、前記識別回路は比較する 2 つの光パルス列の重なり成分による前記 4 光波混合信号光の発生出力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 9】 複数系統の信号光パルス列をそれぞれ分岐する分岐手段と、

前記分岐手段で分岐されたうちの一つの繰り返し光パル

ス信号、または別途用意したパルス列を基準光パルス列とし、残りの複数系統の光パルス信号を前記信号光パルス列として前記信号光パルス列のタイミングを各々検出する請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の複数の光パルスタイミング検出回路と、

前記複数系統の前記信号光パルス列が時間多重された場合に該複数系統の光パルス列が等間隔で配置されるように、前記残りの複数系統の光パルス列のパルスタイミングを各々制御する遅延制御手段と、

前記遅延制御手段でタイミングを制御された前記複数系統の前記信号光パルス列を時間的に合成する光多重手段とを有し、

前記光パルスタイミング検出回路は、前記基準光パルス列と前記信号光パルス列間の重なり時間位置の比較により検出した前記残りの複数系統の光パルス信号のタイミング検出結果に応じて、前記遅延制御手段のそれぞれに付与すべき遅延時間をフィードバック制御するための遅延制御信号を出力することを特徴とする光時分割多重装置。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の光時分割多重装置において、

前記光パルスタイミング検出回路は 1 個だけ 1 系統のみに設けられ、

前記分岐手段で分岐された前記複数系統の光パルス列を順次選択するためのタイミング信号を発生する選択タイミング制御器と、

前記複数系統の光パルス列の分岐を收容し、前記選択タイミング制御器の前記タイミング信号を用いて時間的に 1 つの入力を選択する光チャンネル選択スイッチとを有し、

前記分岐手段で分岐された前記複数系統の光パルス列を前記光チャンネル選択スイッチを介して時分割で順次選択して前記光パルスタイミング検出回路に供給し、該光パルスタイミング検出回路の出力が遅延制御信号として前記光チャンネル選択スイッチと連動した電気信号選択スイッチによりそれぞれの対象系列の前記遅延制御手段に分配されて、順次当該遅延制御手段にフィードバックされることを特徴とする光時分割多重装置。

【請求項 11】 時間基準となる繰り返し周波数  $f_0/N$  の基準光パルス列と、前記基準光パルス列と同じ繰り返し周波数またはその  $N$  倍の繰り返し周波数  $f_0$  の信号光パルス列を入力する光パルスタイミング検出回路において、

前記信号光パルス列を分岐する分岐手段と、

前記基準光パルス列を偏光方向が直交し一定の遅延時間差を持つ 2 つの基準光パルス列に分離する光分離手段と、

前記分岐手段の一方の出力を入力し、同期すべき前記信号光パルス列の時間位置が前記光分離手段で分離した前記 2 つの基準光パルス列の時間位置の中間となるように

設定する半固定遅延手段とを具備し、

前記光分離手段で分離した前記 2 つの基準光パルス列の一方と前記半固定遅延手段で遅延処理された前記信号光パルス列の光パワーの一部とを合波し、前記光分離手段で分離した前記 2 つの基準光パルス列の他方と前記半固定遅延手段で遅延処理された前記信号光パルス列の光パワーの残りとを合波する光合成手段と、

前記光合成手段の出力を受信して各々の光パルス列間の重なり成分を独立に観測する 2 つの光パルス相互相関受信手段と、

前記 2 つの光パルス相互相関受信手段の出力の増減を検出することにより前記信号光パルス列の時間位置の前後への変動を計測する信号比較手段とから構成されるタイミング識別手段を具備することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 12】 請求項 11 に記載の光パルスタイミング検出回路において、

前記光分離手段は複屈折性を持つ光学材料の主軸に対して 45 度の偏光方向またはそれと等価の円偏光に光パルスを入射することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 13】 請求項 11 に記載の光パルスタイミング検出回路において、

前記 2 つの光パルス相互相関受信手段はそれぞれ複数パルスの重なりによって発生する和周波光の発生部と、該和周波光の波長に感度の高い光受信器とを含む和周波光受信器であり、

前記信号比較手段は 2 つの前記光受信器の信号出力の増減により前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 14】 請求項 13 に記載の光パルスタイミング検出回路において、

前記光合成手段は 2 つの入力ポートと 1 つまたは 2 つの出力ポートを持つ偏光保持型の光結合手段と、1 つまたは 2 つの入力ポートと 2 つの出力ポートを持つ偏光分離手段とを含み、

偏光方向が直交し一定の遅延時間差を持つ前記 2 つの基準光パルス列を、直交する偏光方向が前記光合成手段の偏光主軸方向（X 軸方向と Y 軸方向）に一致するように一方の入力ポートから入射し、前記信号光パルス列を、偏光方向が前記偏光保持型の光合成手段の偏光主軸方向に対して約 45 度の直線偏光またはそれと等価の円偏光になるように他方の入力ポートから入射して、基準光パルス列と信号光パルス列の合成光を出力ポートから取り出し、

該合成光を、基準光パルス列の偏光方向が前記偏光分離手段の偏光主軸方向（X' 軸方向と Y' 軸方向）に一致するように入力ポートから入射し、該合成光の X' 軸方向成分と Y' 軸方向成分を分離して、それぞれ 2 つの異なる出力ポートから取り出すことを特徴とする光パルスタ

イミング検出回路。

【請求項 15】 請求項 14 に記載の光パルスタイミング検出回路において、  
前記光パルス相互相関受信手段は基本光波長には感度が低く、入力光波長より短波長に高い感度を持つアバランシェフォトダイオード受信器を含み、  
前記信号比較手段は比較する 2 パルスの重なり成分による 2 光子吸収電力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 16】 請求項 15 に記載の光パルスタイミング検出回路において、前記光パルス相互相関受信手段は同一直線偏光方向のパルス間の相互作用により光信号を発生するタイプ 1 型の和周波光発生材料と、基本光波長には感度が低く、入力光波長よりも短波長に高い感度を持つ受信器とを含み、  
前記信号比較手段は比較する 2 つの光パルス列の重なり成分による和周波光出力の増減と 2 光子吸収電力の増減の両者の和を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 17】 請求項 16 に記載の光パルスタイミング検出回路において、  
前記光合成手段は 2 つの入力ポートと 2 つの出力ポートをもつ偏光合成手段を含み、  
前記偏光方向が直交し一定の遅延時間差を持つ前記 2 つの基準光パルス列を、直交する偏光方向が前記偏光合成手段の偏光主軸方向（X 軸方向と Y 軸方向）に一致するように一方の入力ポートから入射し、前記信号光パルス列を、偏光方向が前記偏光合成手段の偏光主軸方向に対して約 45 度の直線偏光またはそれと等価の円偏光になるように他方の入力ポートから入射して、基準光パルス列と信号光パルス列の合成光を前記偏光合成手段の 2 つの出力ポートから取り出すことによって、基準パルス列と信号パルス列の合成と、2 つの異なる偏光方向の光パルス間の合成と分離を同時に行うことを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 18】 請求項 17 に記載の光パルスタイミング検出回路において、  
前記光パルス相互相関受信手段は、前記基準光パルス列と前記信号パルス列の偏光方向が互いに直交しているときに位相整合して和周波光を発生するタイプ 2 型の和周波光発生材料と、該和周波光の波長を透過し基本光波長を遮断する波長フィルタと、基本光波長には感度が低く入力光波長よりも短波長に感度が高い光受信器とを含み、  
前記信号比較手段は比較する 2 つの光パルス列の重なり成分による和周波光の増減を検出することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 19】 請求項 11 に記載の光パルスタイミン

グ検出回路において、

前記信号光パルス列（光周波数  $w_1$ ）と異なる光周波数（ $w_2$ ）を持ち時間的に同期した繰り返し周波数  $f_0/N$  の光パルス光源を前記基準光パルス列として用い、  
前記光合成手段は基準パルス列と信号パルス列との合波は、両パルスを同一直線偏光方向で結合し、  
前記 2 つの光パルス相互相関受信手段はそれぞれ、入射した 2 つの光パルス列間の相互作用により 4 光波混合信号光を発生する 3 次の非線形光学材料と、基準光周波数  $w_1$  と信号光周波数  $w_2$  を透過せずに、両者の位相共役波光周波数（ $(2 \times w_1 - w_2)$  または  $(2 \times w_2 - w_1)$ ）を透過する波長フィルタと、基本波長の近傍で感度が高い光受信器とを含み、  
前記信号比較手段は比較する 2 つの光パルス列の重なり成分による前記 4 光波混合信号光の発生出力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 20】 請求項 19 に記載の光パルスタイミング検出回路において、  
前記タイミング識別手段は各々のパルス列との重なり成分の変動を比較する前記 2 つの光パルス相互相関受信手段の電気出力を並列に接続した並列光受信器を含み、両該並列光受信器の出力の差分を時間位置変動方向の識別に用いることを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 21】 請求項 20 に記載の光パルスタイミング検出回路において、  
前記タイミング識別手段は各々のパルス列との重なり成分の変動を比較する前記 2 つの光パルス相互相関受信手段の電気出力の差分または分数をとることにより時間位置変動方向の識別に用い、該電気出力の和算をとることにより信号平均パワーを類推し、該電気出力の両者の割算をすることにより時間位置方向と変動量の両者を検出することを特徴とする光パルスタイミング検出回路。

【請求項 22】 繰り返し周波数  $f_0$  の M 系統（M は 2 以上の整数）の光パルス列のそれぞれのタイミングを制御する遅延制御手段と、該 M 系統の光パルス列を合波する光多重手段を用いて、該 M 系統の光パルス列を時間軸上で等間隔に多重して繰り返し周波数  $f_0$  の光パルス列を生成する光時分割多重装置において、  
前記 M 系統の光パルス列をそれぞれ分岐する分岐手段と、  
前記分岐手段で分岐された前記光パルス列のうちの一系統、または別途用意した光パルス列を基準光パルス列とし、残りの系統の光パルス列のタイミングを検出する請求項 11 ないし 21 のいずれかに記載の光パルスタイミング検出回路とを具備し、  
前記 M 系統の光パルス列のそれぞれの時間位置の変動を前記光パルスタイミング検出回路で検出し、該検出結果に応じて前記遅延制御手段により各系統の時間位置変動

を除去するようにフィードバック制御することとを特徴とする光時分割多重装置。

【請求項 23】 請求項 22 の光時分割多重装置において、前記光パルスタイミング検出回路は 1 個だけ 1 系統のみに設けられ、

前記分岐された複数系統の光パルス列を順次選択するためのタイミング信号を発生する選択タイミング制御器と、

前記複数系統の光パルス列を収容し、前記選択タイミング制御器の前記タイミング信号を用いて該複数系統の光パルス列を時分割で順次選択して、前記光パルスタイミング検出回路に供給する光チャンネル選択スイッチとを有し、

前記光パルス相互相関受信手段の出力が遅延制御信号として前記光チャンネル選択スイッチと連動した電気信号選択スイッチによりそれぞれの対象系列に分配されて、順次該当の前記遅延制御手段にフィードバックされることを特徴とする光時分割多重装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光パルスタイミング検出回路及び光時分割多重装置に関し、特に短光パルス列が RZ (Return to Zero; ゼロ復帰) フォーマットとなるよう変調される広帯域光通信システムにおいて、光パルス時間多重制御時のタイミング揺らぎを検出する回路および光時分割多重化装置の安定動作に関する。そして本発明は、長尺の光学素子 (光ファイバや長距離のミラー光路等) を必要とする光パルスの発生、圧縮、スイッチングや計測システム一般の安定化、低ジッタ化にも寄与できるものである。

【0002】

【従来の技術】短光パルスを用いた信号処理、信号伝送、計測において、パルスの強度やタイミングの揺らぎは信号対雑音比や分解能を劣化させる大きな要因である。図 15 に、短パルス発生光源と分散によるパルス圧縮ファイバ、エルビウム添加光ファイバ増幅器を用いた短光パルス信号発生と、それを利用した従来の光時分割多重装置の構成例とそのタイミング揺らぎ要因を示す。図 15 において、1 はレーザダイオード等の短光パルス発生回路、2 は分散を付与したファイバ等で構成されるパルス幅圧縮回路、3 はエルビウム添加光ファイバ増幅器等の光増幅回路 (EDFA)、4 は短光パルスを M 個の複数の系統に分岐する光分岐部、5 は光パルスを伝送情報信号により変調する変調器、6 は変調された光パルスに所望の遅延を与える遅延調整器、7 は光変調器 5 および遅延調整器 6 からなる 1 系、同様に、8 は M 系の光パルス伝送情報信号 M により変調する変調器および変調された光パルスに所望の遅延を与える遅延調整器からなる M 系、9 は M 個の系統から出力される光パルスを合成

することにより光パルスの時分割多重信号を出力する光多重部である。

【0003】このように構成された光時分割多重装置において、短光パルス発生回路 1 からは、図 1 に示すような短光パルス a が所定の繰り返し周期 f ごとに連続して発生しており、短光パルス a が分岐部 4 に入力されて複数 (M 個) の光導波路に分岐される。これら分岐された 1 つの短光パルスは、1 系 7 に入力されて、変調器 5 において短光パルスの繰り返しに同期した伝送情報信号により光強度変調されて、図 1 に示すような RZ フォーマットの変調短光パルス b とされ、さらに遅延調整器 6 において、所定の時間遅延が付与される。

【0004】また、分岐部 4 で分岐された他方の短光パルスも各々 2 ~ M 系に入力されて、同様に変調短光パルス c, d, ... とされる。そして、1 ~ M 系の変調短光パルス b, c, d, ... は光多重部 9 に入力されて、時間軸上で合成され、図 1 に示すような時間多重信号 z となり出力される。この時間多重信号 z の周期は、短光パルス発生回路 1 から発生された多重後のパルスの繰り返し周期の 1/M とされる。

【0005】なお、時間多重信号 z の周期が信号短パルス列発生回路 1 から発生されたパルスの繰り返し周期の 1/M となるためには、光多重部 9 で合波されたときに変調短光パルス b, c, d, ... が等間隔に位置する必要があるために、遅延調整器 6 が設けられているのである。このように 1/M 系の短光パルス信号を時間多重化することによって、効率的な光通信システムとしていた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の光時分割多重装置においては、初期立ち上げ時に遅延調整器 6 は変調短光パルスを相互の遅延時間差が最適になるよう調整した後に固定している。しかしながら、変調短光パルス b, c, d, ... を生成するために必要な区間、すなわち分岐部 4 の出力から光多重部 9 の入力までの経路は、実際には装置構成上および製造上の理由でそれぞれ異なる配置、長さとなる場合が多い。

【0007】さらに、超短パルス信号を得るには、光源 (信号短パルス列発生回路) 1 からパルスを発生した後、ファイバの分散勾配を利用した 2 のパルス幅圧縮回路 (50-100 m) や 3 のファイバ型の光増幅器 (10-50 m) による信号強度の増大など、長尺のファイバ関連部品を用いることが必要である。また、信号の多重化や分離の際に用いる様々な部品も、ビッグテール 10 とよばれる数 m 程度の接続用ファイバで組み合わせることが一般的である。繰り返し f<sub>0</sub> Hz の短光パルス列は各々各波変調する際、M 波束ねる際に、これらの長尺部品を通過することにより、その温度変動や応力による伸縮によって利用点でのタイミング揺らぎ (位相ドリフト) が生じる。

【0008】たとえば100mの通常ファイバ部品を用いる場合、媒質の10度の温度変化で約100psの遅延時間の変化が生じる（ファイバ部品の熱膨張伸縮率 $2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ と仮定する）。このため、たとえば伝送レートfが20Gbit/sの場合にはわずか3度の温度変動でも、変調器5に達する時点で1ビットの60%に匹敵するパルスタイミング揺らぎが生じて、信号の変調誤りの原因となる。これが、タイミング揺らぎの解決すべき第1の課題である。

【0009】次に、たとえ個々の信号変調が良好にできたとしても、パルスの繰り返し周期に揺らぎがあると、繰り返し周波数にジッタが生じ、受信側において短光パルスb、c、d、...を正確に分離することができず良好な受信を行うことができない。しかし、検討する各系統の光回路構成ファイバ部品長に2mの差があると、わずか5度の温度変化で1ps以上の時間揺らぎが生じ、120Gbit/s（報告されるプロトタイプではパルス幅3.5ps、繰り返し間隔8ps：川西等：国際会議発表ECCOC98 Post deadline paper 1, pp.41 120Gbit/s OADM system prototype）を越えるような広帯域伝送用の多重においては、無視できない信号誤り率の劣化を生じてしまう。さらに、たとえば複数の系統の光回路が異なった位置に設定されている場合には、各系統のファイバ長がたとえば同一の長さ4mに統一できていたとしても、環境温度差わずか2度程度で、2ps以上のタイミング揺らぎが生じる。これがタイミング揺らぎの解決すべき第2の課題である。

【0010】このような構成ファイバ部品長の変動の影響を押さえるために、素子間の長尺部分を極力排除した、ハイブリット集積という技術により、タイミングのずれ、揺らぎを押さえる努力もなされている（高良等：国際会議発表COC99-FI2-1, pp.135 Integrated Optical Time-division multiplexer based on Planar Lightwave Circuit）が、各構成ごとに特化した高度な設計・作成技術を必要とし、廉価で汎用な技術には至っていない。

【0011】そこで、短光パルスを用いた光時分割多重装置においては、環境が変化する運用中に信号のタイミング変化を観測（モニタ）して、修正する簡便な回路が強く望まれていた。

【0012】このようなパルス列のタイミング、位相評価法としては低速においてはSAW（surface acoustic wave；表面弾性波）フィルタを用いたタンク回路、中速においてはPLL（phase-locked loop；位相ロックループ）回路などが従来手法として考えられてきた。

【0013】また、特開平8-237228号公報においては、図16に示す様に各分岐段11に各々にPLL等を用いた位相検波回路とタイミング比較回路を組み込み、相互に周波数抽出・位相比較をおこなう手法も提案されている。しかし、各分岐ごとにPLLループを含む

位相比較制御回路15を設置することは、系の安定までの時定数を冗長化しかつ、制御機構を複雑にする原因となる。また、通常のPLL回路の同期電気系の動作速度が10GHz程度で制限されており、より高い光源aのベースバンド周波数f（既に40GHzの光源を用いることが将来有望視されている）への対応が難しい。また、固定された繰り返しを持ち、その周波数があらかじめ想定された一定値の近傍に限られ、追従可能な帯域範囲である必要がある。そのため、上記特開平8-237228号公報の提案も高速電気回路の多用による高コストや構成の大規模化・煩雑さにより、実用化されていない。

【0014】以上のように長尺の光部品の多用が原因となる、上記2種類のパルスのタイミング変動（位相ドリフト）は広帯域の光信号を取り扱う場合、ぜひ解決すべき課題である。しかも使用する繰り返し周波数によらない、廉価で、時間分解能の高い、簡便なりアルタイム遅延評価部および補正部が望まれている。同様な課題が、高安定を要求される光計測や、監視システムにおいても発生することは明らかである。

【0015】本発明は上述の点に鑑みてなされたもので、その目的は超高速、超短パルスの伝送や計測において必須であるパルス列の時間ずれの制御において、しばしば問題となる長尺光学部品（たとえば光ファイバ増幅器：EDFA）の温度変化等に起因する信号伝搬方向の物理的伸縮による信号到達タイミングの変動を補正し、時間領域での高精度な安定性を実現する技術を提供することにある。

【0016】即ち、本発明の目的は、時間基準となる光パルス列と位相同期を必要とする信号パルス列との遅延時間のずれを、高価な超高速電気回路なしに瞬時に観測して補正する簡便な光パルスタイミング検出回路及び光時分割多重装置を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1の発明は、時間基準となる繰り返し周波数 $f_0/N$ の基準光パルス列と、該基準光パルス列と同じ繰り返し周波数またはN倍の繰り返し周波数 $f_0$ の信号光パルス列を入力する光パルスタイミング検出回路において、前記信号光パルス列を分岐する分岐手段と、前記分岐手段の一方の出力を入力し、前記基準光パルス列と前記信号光パルス列の時間位置関係が一部重なるように設定する半固定遅延手段とを具備し、前記半固定遅延手段の出力と前記基準光パルス列を合波する光結合手段と、前記光結合手段の出力を受信して光パルス列間の重なり成分を観測する光受信器と、前記光受信器の出力の増減を検出する識別回路とから構成される光パルス相互関連受信手段を具備することを特徴とする。

【0018】ここで、前記光受信器は複数パルスの重なりによって発生する和周波光の発生部と、該和周波光の



波長に感度の高い受信器とを含む和周波光受信器であり、前記識別回路は該和周波光受信器の信号出力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とすることができる。

【0019】また、前記光結合手段は前記基準光パルス列と前記信号光パルス列の両パルス列を同一直線偏光方向で結合し、前記光受信器は同一直線偏光方向のパルス列間の相互作用により光信号を発生するタイプ1型の和周波光発生材料と、入力光波長よりも短波長に感度を持つ受信器とを含み、前記識別回路は比較する2つの光パルス列間の重なり成分による和周波光の発生出力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とすることができる。

【0020】また、前記光受信器は基本光波長には感度が低く、入力光波長よりも短波長に高い感度を持つ受信器を使用し、前記識別回路は比較する2つの光パルス列間の重なり成分による2光子吸収電力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とすることができる。

【0021】また、前記光受信器は同一直線偏光方向のパルス列間の相互作用により光信号を発生するタイプ1型の和周波発生材料と、基本光波長には感度が低く、入力光波長よりも短波長に高い感度を持つアバランシェフォトダイオード受信器とを含み、前記識別回路は比較する2つの光パルス列間の重なり成分による和周波光出力の増減と2光子吸収電力の増減の両者の和を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とすることができる。

【0022】また、前記光結合手段は複数の入出力ポートをもつ偏光ビームスプリッタを用い、該偏光ビームスプリッタの異なる面から前記基準光パルス列と前記信号光パルス列を入射して互いに直交する直線偏光で両パルス列の合波を行い、前記光受信器は前記信号光パルス列および前記基準光パルス列の偏光方向が互いに直交しているときに位相整合して和周波光を発生するタイプ2型の和周波光発生材料と、該和周波波長を透過して基本波長を遮断するフィルタと、基本光波長には感度が低く、入力光波長よりも短波長に高い感度を持つ受信器とを含み、前記識別回路は比較する2つの光パルス列間の重なり成分による和周波光の発生出力の増減を検出することを特徴とすることができる。

【0023】また、前記分岐手段は前記基準光パルス列および前記信号光パルス列の一部をモニタ用に分岐し、前記信号光パルス列の強度の変動を補償する出力強度固定光増幅器と、前記識別回路の出力信号値に対応して遅延制御信号を出力する遅延制御手段とを有することを特徴とすることができる。

【0024】また、前記信号光パルス列（光周波数 $w$ 1）と異なる光周波数（ $w$ 2）を持ち時間的に同期した繰り返し周波数 $f_0/N$ の光パルス列を前記基準光パル

ス列として用い、前記光結合手段は前記基準光パルス列と前記信号光パルス列を同一直線偏光方向で結合することで両光パルス列を合波し、前記光受信器は入射した2つの光パルス列間の相互作用により4光波混合信号光を発生する3次の非線形光学材料と、基準光周波数 $w$ 1と信号光周波数 $w$ 2を透過せずに、両者の位相共役波光周波数（ $2 \times w$ 1 -  $w$ 2）または（ $2 \times w$ 2 -  $w$ 1））を透過する波長フィルタと、基本波長の近傍で感度が高い受信器とを含み、前記識別回路は比較する2つの光パルス列の重なり成分による前記4光波混合信号光の発生出力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とすることができる。

【0025】上記目的を達成するため、請求項9の光時分割多重装置の発明は、複数系統の信号光パルス列をそれぞれ分岐する分岐手段と、前記分岐手段で分岐されたうちの一つの繰り返し光パルス信号、または別途用意したパルス列を基準光パルス列とし、残りの複数系統の光パルス信号を前記信号光パルス列として前記信号光パルス列のタイミングを各々検出する請求項1ないし8のいずれかに記載の複数の光パルスタイミング検出回路と、前記複数系統の前記信号光パルス列が時間多重された場合に該複数系統の光パルス列が等間隔で配置されるように、前記残りの複数系統の光パルス列のパルスタイミングを各々制御する遅延制御手段と、前記遅延制御手段でタイミングを制御された前記複数系統の前記信号光パルス列を時間的に合成する光多重手段とを有し、前記光パルスタイミング検出回路は、前記基準光パルス列と前記信号光パルス列間の重なり時間位置の比較により検出した前記残りの複数系統の光パルス信号のタイミング検出結果に応じて、前記遅延制御手段のそれぞれに付与すべき遅延時間をフィードバック制御するための遅延制御信号を出力することを特徴とする。

【0026】ここで、前記光パルスタイミング検出回路は1個だけ1系統のみに設けられ、前記分岐手段で分岐された前記複数系統の光パルス列を順次選択するためのタイミング信号を発生する選択タイミング制御器と、前記複数系統の光パルス列の分岐を収容し、前記選択タイミング制御器の前記タイミング信号を用いて時間的に1つの入力を選択する光チャンネル選択スイッチとを有し、前記分岐手段で分岐された前記複数系統の光パルス列を前記光チャンネル選択スイッチを介して時分割で順次選択して前記光パルスタイミング検出回路に供給し、該光パルスタイミング検出回路の出力が遅延制御信号として前記光チャンネル選択スイッチと連動した電気信号選択スイッチによりそれぞれの対象系列の前記遅延制御手段に分配されて、順次当該遅延制御手段にフィードバックされることを特徴とすることができる。

【0027】上記目的を達成するため、請求項11の発明は、時間基準となる繰り返し周波数 $f_0/N$ の基準光パルス列と、前記基準光パルス列と同じ繰り返し周波数



またはそのN倍の繰り返し周波数  $f_0$  の信号光パルス列を入力する光パルスタイミング検出回路において、前記信号光パルス列を分岐する分岐手段と、前記基準光パルス列を偏光方向が直交し一定の遅延時間差を持つ2つの基準光パルス列に分離する光分離手段と、前記分岐手段の一方の出力を入力し、同期すべき前記信号光パルス列の時間位置が前記光分離手段で分離した前記2つの基準光パルス列の時間位置の間となるように設定する半固定遅延手段とを具備し、前記光分離手段で分離した前記2つの基準光パルス列の一方と前記半固定遅延手段で遅延処理された前記信号光パルス列の光パワーの一部とを合波し、前記光分離手段で分離した前記2つの基準光パルス列の他方と前記半固定遅延手段で遅延処理された前記信号光パルス列の光パワーの残りとを合波する光合成手段と、前記光合成手段の出力を受信して各々の光パルス列間の重なり成分を独立に観測する2つの光パルス相互相関受信手段と、前記2つの光パルス相互相関受信手段の出力の増減を検出することにより前記信号光パルス列の時間位置の前後への変動を計測する信号比較手段とから構成されるタイミング識別手段を具備することを特徴とする。

【0028】ここで、前記光分離手段は複屈折性を持つ光学材料の主軸に対して45度の偏光方向またはそれと等価の円偏光でパルスを入射することを特徴とすることができる。

【0029】また、前記2つの光パルス相互相関受信手段はそれぞれ複数パルスの重なりによって発生する和周波光の発生部と、該和周波光の波長に感度の高い光受信器とを含む和周波光受信器であり、前記信号比較手段は2つの前記光受信器の信号出力の増減により前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とすることができる。

【0030】また、前記光合成手段は2つの入力ポートと1つまたは2つの出力ポートを持つ偏光保持型の光結合手段と、1つまたは2つの入力ポートと2つの出力ポートを持つ偏光分離手段とを含み、偏光方向が直交し一定の遅延時間差を持つ前記2つの基準光パルス列を、直交する偏光方向が前記光合成手段の偏光主軸方向（X軸方向とY軸方向）に一致するように一方の入力ポートから入射し、前記信号光パルス列を、偏光方向が前記偏光保持型の光合成手段の偏光主軸方向に対して約45度の直線偏光またはそれと等価の円偏光になるように他方の入力ポートから入射して、基準光パルス列と信号光パルス列の合成光を出力ポートから取り出し、該合成光を、基準光パルス列の偏光方向が前記偏光分離手段の偏光主軸方向（X'軸方向とY'軸方向）に一致するように入力ポートから入射し、該合成光のX'軸方向成分とY'軸方向成分を分離して、それぞれ2つの異なる出力ポートから取り出すことを特徴とすることができる。

【0031】また、前記光パルス相互相関受信手段は基

本光波長には感度が低く、入力光波長より短波長に高い感度を持つアバランシェフォトダイオード受信器を含み、前記信号比較手段は比較する2パルスの重なり成分による2光子吸収電力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とすることができる。

【0032】また、前記光パルス相互相関受信手段は同一直線偏光方向のパルス間の相互作用により光信号を発生するタイプ1型の和周波光発生材料と、基本光波長には感度が低く、入力光波長よりも短波長に高い感度を持つ受信器とを含み、前記信号比較手段は比較する2つの光パルス列の重なり成分による和周波光出力の増減と2光子吸収電力の増減の両者の和を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することを特徴とすることができる。

【0033】また、前記光合成手段は2つの入力ポートと2つの出力ポートをもつ偏光合成手段を含み、前記偏光方向が直交し一定の遅延時間差を持つ前記2つの基準光パルス列を、直交する偏光方向が前記偏光合成手段の偏光主軸方向（X軸方向とY軸方向）に一致するように一方の入力ポートから入射し、前記信号光パルス列を、偏光方向が前記偏光合成手段の偏光主軸方向に対して約45度の直線偏光またはそれと等価の円偏光になるように他方の入力ポートから入射して、基準光パルス列と信号光パルス列の合成光を前記偏光合成手段の2つの出力ポートから取り出すことによって、基準パルス列と信号パルス列の合成と、2つの異なる偏光方向の光パルス間の合成と分離を同時に行うことを特徴とすることができる。

【0034】また、前記光パルス相互相関受信手段は、前記基準光パルス列と前記信号パルス列の偏光方向が互いに直交しているときに位相整合して和周波光を発生するタイプ2型の和周波光発生材料と、該和周波光の波長を透過し基本光波長を遮断する波長フィルタと、基本光波長には感度が低く入力光波長よりも短波長に感度が高い光受信器とを含み、前記信号比較手段は比較する2つの光パルス列の重なり成分による和周波光の増減を検出することを特徴とすることができる。

【0035】また、前記信号光パルス列（光周波数  $w_1$ ）と異なる光周波数（ $w_2$ ）を持ち時間的に同期した繰り返し周波数  $f_0/N$  の光パルス光源を前記基準光パルス列として用い、前記光合成手段は基準パルス列と信号パルス列との合波は、両パルスを同一直線偏光方向で結合し、前記2つの光パルス相互相関受信手段はそれぞれ、入射した2つの光パルス列間の相互作用により4光波混合信号光を発生する3次の非線形光学材料と、基準光周波数  $w_1$  と信号光周波数  $w_2$  を透過せずに、両者の位相共役波周波数（ $(2 \times w_1 - w_2)$  または  $(2 \times w_2 - w_1)$ ）を透過する波長フィルタと、基本波長の近傍で感度が高い光受信器とを含み、前記信号比較

手段は比較する 2 つの光パルス列の重なり成分による前記 4 光波混合信号光の発生出力の増減を用いて前記信号光パルス列の時間位置関係の変動を計測することと特徴とすることができるまた、前記タイミング識別手段は各々のパルス列との重なり成分の変動を比較する前記 2 つの光パルス相互相関受信手段の電気出力を並列に接続した並列光受信器を含み、両該並列光受信器の出力の差分を時間位置変動方向の識別に用いることを特徴とすることができる。

【0036】また、前記タイミング識別手段は各々のパルス列との重なり成分の変動を比較する前記 2 つの光パルス相互相関受信手段の電気出力の差分または分数をとることにより時間位置変動方向の識別に用い、該電気出力の和算をとることにより信号平均パワーを類推し、該電気出力の両者の割算をすることにより時間位置方向と変動量の両者を検出することを特徴とすることができる。

【0037】上記目的を達成するため、請求項 22 の発明は、繰り返し周波数  $f_0$  の M 系統 (M は 2 以上の整数) の光パルス列のそれぞれのタイミングを制御する遅延制御手段と、該 M 系統の光パルス列を合波する光多重手段を用いて、該 M 系統の光パルス列を時間軸上で等間隔に多重して繰り返し周波数  $f_0$  の光パルス列を生成する光時分割多重装置において、前記 M 系統の光パルス列をそれぞれ分岐する分岐手段と、前記分岐手段で分岐された前記光パルス列のうちの一系統、または別途用意した光パルス列を基準光パルス列とし、残りの系統の光パルス列のタイミングを検出する請求項 11 ないし 21 のいずれかに記載の光パルスタイミング検出回路とを具備し、前記 M 系統の光パルス列のそれぞれの時間位置の変動を前記光パルスタイミング検出回路で検出し、該検出結果に応じて前記遅延制御手段により各系統の時間位置変動を除去するようにフィードバック制御することを特徴とする。

【0038】ここで、前記光パルスタイミング検出回路は 1 個だけ 1 系統のみに設けられ、前記分岐された複数系統の光パルス列を順次選択するためのタイミング信号を発生する選択タイミング制御器と、前記複数系統の光パルス列を収容し、前記選択タイミング制御器の前記タイミング信号を用いて該複数系統の光パルス列を時分割で順次選択して、前記光パルスタイミング検出回路に供給する光チャンネル選択スイッチとを有し、前記光パルス相互相関受信手段の出力が遅延制御信号として前記光チャンネル選択スイッチと連動した電気信号選択スイッチによりそれぞれの対象系列に分配されて、順次該当の前記遅延制御手段にフィードバックされることを特徴とすることができる。

【0039】(作用) 本発明の第 1 の形態では、計測位置で基準光パルス列と信号光パルス列の重なり成分の増減をもって、基準位置からのずれの量とその方向を特定

できるため、二次の光非線形効果に起因するただ 1 つの信号値を評価するだけで補正すべき遅延量、補正方向 (遅延を増やすか減らすか) を高精度に特定することができる。本発明は高速の繰り返しパルスに対して、パルス列間の時間位置をパルス幅の  $1/10$  以下で検出できるが、繰り返し信号各々から得られる非線形信号の平均電力を読みとればよいので、高速の光受信器や電気回路で構成する必要は無い。よって、構成する光受信器や電気回路の応答速度にはタイミング検出精度は依存しない。和周波を発生する非線形材料や、2 光子吸収電力を発生する受光素子の光学応答に依存するので非常に高精度である。より広帯域の光伝送に用いられる光パルス列ほどパルス幅が短く、非線形感度や時間分解能はより向上するという拡張性を有する。

【0040】また、本発明の第 2 の形態では、計測位置で 2 つに分離した基準光パルス列と信号光パルス列の相互の重なり成分の増減をもって、基準位置からのずれの量とその方向を特定できる。2 つの相互相関信号値を比較するだけで補正すべき遅延量、補正方向 (遅延を増やすか減らすか) を高精度に特定することができる。評価すべきパルス列の信号強度が運用形態の変化で変動して各受信光起電力が変動しても、2 つの受信器電力の相对比较をおこなっているため、タイミング検出の誤りは起きない。パルス列間の時間位置を光パルス幅の  $1/10$  以下で分離できる高い時間分解能をもつが、繰り返し信号各々から得られる非線形信号の平均電力を読みとればよいので、高速の光受信器や電気回路で構成する必要は無い。よって、構成する光受信器や電気回路の応答速度にはタイミング検出精度は依存しない。和周波を発生する非線形材料や、2 光子吸収電力を発生する受光素子の光学応答に依存するので非常に高精度である。より広帯域の光伝送に用いられる光パルス列ほどパルス幅が短く、非線形感度や時間分解能はより向上する。

【0041】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0042】(第 1 の実施形態) 図 1 は本発明の第 1 の実施形態における光パルスタイミング検出回路の原理構成を示す。この光パルスタイミング検出回路は、短パルス列 (基準光パルス列と同じ繰り返し周波数または N 倍の繰り返し周波数  $f_0$  の信号光パルス列) を発生する信号短パルス列発生回路 21 と、この発生した信号光パルス列を通す温度変動を受ける長尺光学経路 & 部品 22 と、この発生した信号光パルス列から時間基準となる繰り返し周波数  $f_0/N$  の基準光パルス列を出力する基準光パルス列発生回路 23 と、長尺光学経路 & 部品 22 を通った周波数  $f_0$  の信号光パルス列を分岐する信号パルス分岐部 (光分岐部) 24 と、信号パルス分岐部 24 の一方の出力を入力し基準光パルス列と信号光パルス列の時間位置関係が一部重なるように設定する半固定遅延部 2

5 と、半固定遅延部 25 の出力と基準光パルス列発生回路 23 からの基準光パルス列を合波する光結合部 26 と、光結合部 26 の出力を受信し光パルス列間の重なり成分を観測する和周波光受信器 27 と、和周波光受信器 27 の出力の増減を検出する信号識別回路 28 とを具備し、信号識別回路 28 の検出結果により上記周波数  $f_0$  の信号光パルス列の遅延調整が必要な場合は長尺光学経路 & 部品 22 と信号パルス分岐部 24 間に配置した光遅延制御回路 31 によりその遅延制御を行う。これにより、信号パルス分岐部 24 の他方の出力からタイミング安定化パルスが得られる。また、光結合部 26 と和周波光受信器 27 と信号識別回路 28 とで光パルス相互相関受信部 29 が構成される。

【0043】本タイミング検出回路では、複数のパルスが重なった時により多くの光出力（2 光子吸収の場合は電力）を発生させる光非線形材料を和周波光受信器 27 中に有している。信号パルスが基準パルスと時間的に重ならない場合、和周波光は増強されず、各受信器の出力は各パルス信号強度の自乗の和に比例する。

【0044】複数のパルスが重ね合わされたパルス信号はピーク強度がきわめて高いため、和周波光（両パルスの波長が同一の場合は SHG（2 高調波発生）光）への変換が高効率で行われる。光非線形材料により発生した和周波光は、短波長受信器により光吸収し、電気信号に変換される。さらに、半導体中では入射光ピーク強度が高い場合、2 光子吸収現象により受光感度の無い波長（基幹系光通信の場合は基本波長 1.5 ミクロン）の光が入射して光子エネルギーの 2 倍まで電子正孔対が励起されて、光起電力が生ずる。この現象は 2 倍の高調波光が発生するわけではないが、入射ピークパワーの自乗に比例して受信器光電面での電流が増すため、本受信器の識別性能を向上させることができる。基本波長には受信器に感度が無いため雑音信号とはならない。そのため、高い S/N（信号対雑音）比が得られ、受信器は超短パルス同士のタイミングの重なり状態を精度良く評価できる。

【0045】本発明の第 1 の実施形態においては、高速の光電変換受信器や電気回路を用いた PLL 回路のように、繰り返し周波数を特定することはできないが、基準パルスと信号パルスが同一繰り返し周波数  $f$  または整数倍  $fM$ 、整数分の一の  $f/M$  で同期している場合には、光パルス相互相関受信部 29 により、そのパルス同士の重ね合わせ（相互相関）を光学的にとることによって、非常に高精度な時間位置検出部となる。

【0046】また、本光パルスタイミング検出回路は電氣的共鳴回路を用いていないため、同期して比較し得るパルス間であれば、あらゆるビットレートに対応可能である。逆に言えば、閉じた光パルス多重化伝送装置（光時分割多重装置）内では既知の、周波数という情報の再検出作業を省略し、繰り返しパルス列の時間位置（ピッ

ト内位相）という情報のみを基準光との関係で光学的に検出することに特化する。これより、高精度でフレキシブルな光学的検出部を獲得することができる。

【0047】従って、本光パルスタイミング検出回路を利用すれば、超高繰り返し光時間多重システムなど、電気回路では困難な広帯域応用分野においても簡便で高精度な時間位置検出が可能となり、従来技術の欄で既述した 2 種類の時間遅延ゆらぎの課題の両方とも解決される。

【0048】（第 2 の実施形態）図 2 は本発明の第 2 の実施形態における光パルスタイミング検出回路の原理構成を示す。この光パルスタイミング検出回路において、信号短パルス列発生回路 21、長尺光学経路 & 部品 22、基準パルス列発生回路 23、光分岐部 24、半固定遅延付与部 25、および光遅延制御回路 31 は、図 1 に示した本発明の第 1 の実施形態と同様な構成および機能のものであるので、その詳細説明は省略する。光パルス相互相関受信部 32 の構成が、図 1 の光パルス相互相関受信部 29 と相違している。

【0049】本実施形態の光パルス相互相関受信部 32 は、光パルス分離部 33、光パルス結合部 34、分離部 35、和周波光受信器 36、37 およびタイミング識別用の信号比較部 38 とを有する。光パルス分離部 33 は、時間基準となる繰り返し周波数の基準パルス列を偏光方向が直交し一定の遅延時間差を持つ 2 つの光パルス（図中 AB）に分離する。光パルス結合部 34 は、半固定遅延付与部 25 から入力する同期すべき信号光パルス（または基準光パルス）列の時間位置が光受信器入射時に上記分離した偏光方向が直交し一定の遅延時間差を持つ 2 つの光パルス列の時間位置の中間となるように設定し、その分離した基準光パルス列の一方と信号光パルス列の光パワーの一部とを合波し、その分離した基準光パルス列の他方と信号パルス列の光パワーの残りとを合波する。分離部 35 は各々の光パルス列間の重なり成分を独立に観測するために光パルス列を 2 つに分離する。

【0050】2 つの和周波光受信器 36、37 は、その分離された各々の光パルス列間の重なり成分をそれぞれ独立に観測する。信号比較部 38 は、信号の比較により 2 つの和周波光受信器 36、37 の出力の増減を検出して、信号光パルス列の時間位置の前後の変動を観測することによりタイミングを識別する。このタイミング識別の結果、必要あれば光遅延制御回路 31 を介して信号光パルス列のタイミングを調整する。

【0051】本実施形態の光パルスタイミング検出回路では、光パルス相互相関受信部 32 に、複数のパルスが重なった時により多くの光出力（2 光子吸収の場合は電力）を発生させる 2 つの光非線形材料を和周波光受信器 36、37 中に有する。信号パルスが基準パルスと時間的に重ならない場合、和周波光は増強されず、各受信器の出力は各パルス信号強度の自乗の和に比例する。

【0052】複数のパルスが重ね合わされたパルス信号はピーク強度がきわめて高いため、和周波光（両パルスの波長が同一の場合はSHG）への変換が高效率でおこなわれる。発生した和周波光は、短波長受信器36、37により光吸収し、電気信号に変換される。さらに、半導体中では入射光ピーク強度が高い場合、2光子吸収現象により受光感度の無い基本波長（基幹系光通信の場合基本波長1.5ミクロン）の光が入射しても、光電面で基本波の光子エネルギーの2倍のエネルギーに電子正孔対が励起されて、光起電力が生ずる。この現象は和周波光が発生するわけではないが、入射パワーの自乗に比例して受信器36、37の光電面での電流が増すため、本受信器36、37の識別性能を向上させることができる。基本波長には受信器36、37が感度が無いため雑音信号とはならず、そのため、高いS/N比が得られ、受信器は超短パルス同士のタイミングの重なり状態を精度良く評価できる。

【0053】本実施形態においては、第1の実施形態と同様に、高速の光電変換受信器や電気回路を用いたPLL回路のように、繰り返し周波数を特定することはできないが、基準パルスと信号パルスが同一繰り返し周波数fまたは、整数倍fM、整数分の一のf/Mで同期している場合、そのパルス同士の重ね合わせ（相互相関）を光学的に検出することによって非常に高精度な時間位置検出部となる。

【0054】また、本実施形態の光パルスタイミング検出回路は、第1の実施形態と同様に、電気的共鳴回路を用いていないため、同期して比較しうるパルス同士であれば、同様な構成であらゆるビットレートに対応可能である。逆に言えば、閉じた装置内では既知の、周波数という情報の再検出作業を省略し、繰り返しパルスのタイミング（ビット内位相）という情報のみを2つに分割した基準光との関係で光学的に検出することに特化している。これより、高精度でフレキシブルな光学的タイミング検出部を実現することができる。

【0055】従って本実施形態の光パルスタイミング検出回路を応用すれば、第1の実施形態と同様に、超高繰り返し光時間多重システムなど電気回路で困難な広帯域においても簡便で高精度な時間位置検出が可能である。前述の2種類の時間遅延ゆらぎのいずれの課題も解決が可能である。

【0056】ところで、単に、基準パルスと信号パルスの時間位置の合致度をみるだけならば、第1の実施形態のごとく単独のパルス間の重なり成分の増減をモニタすればよい、しかし、所望のタイミングからなんらかの理由、例えばパルスパワー変動による出力変動でずれた場合には、そのタイミングの補正のために、そのずれの量・方向を瞬時に理解し、修正する命令を制御回路に送る必要がある。このためには、遅延が大きくなった（タイミングが遅れた）ことを示す信号と、遅延が小さくなっ

た（タイミングが進んだ）ことを示す信号を同時に持ち、その信号を比較して最適値を与えるような情報が望まれる。このような複合、そのような情報を持つことができ、遅延の量、方向の情報を同時に割り出すことができ、常に安定に制御する回路が容易となる。

【0057】このような所望のタイミングの前と後ろで各々パルスの重なり相関信号を簡単に得るには、図3に示すように、基準信号を光学的に一定の遅延差を持つ（偏光等で）分離可能な2つのパルス列に分け、その間に信号パルス列をはさみこむという本発明の第2の実施形態が有効である。

【0058】この実施形態が有効となる例を示す。図3の（A）に示すように、単に一つの2次の光非線形現象を用いる構成では、入力光強度の2倍の変動は、受信信号の4倍の変動となる。パルスピーク強度が変化しなくても、繰り返し（デューティ比）の変動でも同様な影響が避けられない。光非線形信号は、パルスの重なり量（つまり両者の時間位置関係）に変化がなくても、入射する平均光パワーが変動すると和周波光受信器の信号出力が大きく変動する。パルス間のタイミング関係や平均パワーが一定でも、パルス品質（時間幅、裾引き、ピーク強度）が変動すると、相互相関成分が増減するため、各受信器の出力値が変動する。

【0059】一方、図3の（B）に示す本発明の第2の実施形態のように、たとえば複屈折性を持った光学結晶の主軸に対してパルスの偏光を斜めに入射すると、偏光方位により屈折率が異なるため、各偏光に入射されたパルスは、結晶内の複屈折差と長さ按比例する時間遅延差を持った2つのパルスに分離されて出力する。この分離した2つのパルスを基準光パルスとして、信号パルスとの時間位置関係を比較するなら、前パルスAとの相互相関成分が増加する場合、同時に後パルスBとの相互相関成分は減少する。この2つの相互相関信号は偏光により容易に分離することが可能である。この相反する変化を示す2つの相互相関による和周波光信号の差分、またはわり算値をとるならば、このようなタイミング変動と関係ない受信器個々の出力変動の影響を、相殺できる。

【0060】

【実施例】以下、図面を参照して、本発明の具体的実施例を詳細に説明する。図1の本発明の第1の実施形態の具体的実施例として図4～図9を参照して第1～第4の実施例を説明し、次に図2、図3の本発明の第2の実施形態の具体的実施例として図10～図14を参照して第5～第7の実施例を説明する。

【0061】（第1の実施例）図4は本発明の時間多重制御装置の第1の実施例の構成を示す。ここでは発明が解決すべき課題の欄で既述した2つのパルス時間位置揺らぎの課題のうち前者（第1の課題）の対応を施した場合の例を述べる。第1の課題とは、100m程度の長尺ファイバ部品によるパルス幅、強度調整部の挿入による

信号変調部前のパルスタイミングの大きな変動である。

【0062】本例では、基準光パルス列発生回路 23 には、電氣的に信号光と同期した繰り返し周波数  $f_0$  の半導体モード同期レーザを入力信号として用いる。信号光パルス列 42 および基準パルス列 43 を光パルス相互相関受信部の和周光受信器 27 に導入する光結合部 26 としては、偏光保持型のファイバ結合器等を用いる。

【0063】重なり成分（和周波）を観測する和周波光受信器 27 としては、和周波発生には和周波発生光学結晶である誘電体 KTP ( $\text{KTiOPO}_4$ ) または  $\text{LiNbO}_3$ 、AANP（2-アダマンチルミノ-5-ニトロピリジン）結晶等 27-1 を用い、その受信器として半導体の薄膜アバランシェホトダイオード (APD) や光電子増倍管 (PM) 光受信器 27-3 を備えさせている。この誘電体結晶 27-1 と半導体受信器 27-3 の間に集光用レンズ 27-2 を挟み込み、これら構成部分を張り合わせるにより、きわめてコンパクトな和周波光受信器 27 が実現する。

【0064】この和周波光受信器 27 の受信信号の増減を信号識別回路 28 で検出し、この検出結果を遅延制御用信号として光遅延制御回路（光路長制御器）31へフィードバックすることで、最適遅延位置に光パルスタイミングを調整制御している。

【0065】図 4 では基準パルス光源として、電氣的に同期した別光源（基準光パルス列発生回路）23 を用いているが、信号光源（信号短パルス発生回路）21 の出射口付近でビームスプリッタ等（図示しない）により分割したパルス列をそのまま、基準パルス列として用いることももちろん可能である。

【0066】本発明に係る和周波光受信器 27 に入射するパルス信号の多くは、光学結晶 27-1 において和周波信号に変換される。光学結晶 27-1 で和周波信号に変換しきれなかった部分を、さらに基本波長に透明な受信器 27-3 の受光面上に焦点を結ぶように、光学系 27-2 を設定する。

【0067】APD や pin 受信器などの半導体光受信器 27-3 中では、本来バンドギャップエネルギーよりも低エネルギー（長波長）の光信号に対して、感度を持たない。しかし、信号ピーク強度が著しく高い場合には、受信器活性層付近で 2 光子吸収現象により受光電流が生じる。この受光電流も、和周波信号の受信と同じく基本波長信号のピーク強度の自乗で増加するため、パルス間の重なり信号による相関受信感度に寄与する。第 1 の実施例においては、基準パルス列と信号パルス列とを互いに一致する偏光方向により合波するため、タイプ 1 の和周波発生光学結晶である誘電体 KTP、 $\text{LiNbO}_3$  結晶などを用い、さらに APD 受信器光電面上に再集光することにより、2 光子吸収電力も和周波信号も区別無く加算して信号感度を得ることができる。

【0068】基準パルス列間の重なりが半分の場合を基

準点として、信号パルス列の時間位置が前後した場合の和周波光受信器 27 の出力の変動を図 5 に模式的に示す。遅延基準信号の時間位置最適点を、図 5 の破線の交差位置（図中の J U S T 点）に設定し、信号識別回路 28 のしきい値を設定する。信号識別回路 28 は、受信器 27 の出力（受信器電力）がしきい値の設定値から低下した場合は、基準パルス列と信号パルス列の重なり成分を増やす方向に光遅延制御回路（可変遅延回路）31 に命令を出し、しきい値の設定値から増加した場合は、基準パルス列と信号パルス列の重なり成分を減らす方向に光遅延制御回路 31 に命令を出す。このように

信号識別回路 28 では、増加の場合は低下の場合と逆の動作の命令を出す。これにより、最適出力値を維持することは、安定遅延位置を維持することにつながる。

【0069】和周波を利用した計測装置のパルス時間分解能は、一般には半値幅で数 100 フェムト秒程度（ただし、利用する結晶の厚みにより若干異なる）である。しかし、信号識別回路 28 でパルス間の重なりを増減を識別する場合は、絶対値でなく変分を評価すれば良いので 100 フェムト秒以下の高分解能が可能となる。図 5 中で示す、検出範囲（高精度検出範囲）を越える位置ずれにより、パルス間の時間位置が遠く離れた場合や、重なり位置が逆転した場合には、正しい位置の瞬時の検出は困難になる。しかし本発明では、もともと設定位置からのゆっくりとしたドリフトを想定して、劣化が顕著になる以前に、信号の品質安定を維持できる範囲で修正を施すことを目的としているので、高精度であればその検出範囲はパルス幅の数倍程度の時間領域で十分である。

【0070】（第 2 の実施例）上述した本発明による光パルスタイミングの検出と安定化の手法は、発明が解決すべき課題の欄で既述した時間位置ゆらぎの第 2 の課題についても解決できる。この場合の具体的な対策を本発明の第 2 の実施例として以下に説明する。この第 2 の課題とは、従来例で説明した図 16 において、信号短パルス列発生回路 1 から出力される光パルスが分岐部 4 で複数に分岐され、この分岐されたそれぞれの光パルスに伝送情報により変調器 5 で変調が施され、複数系統の光パルス b、c、d … とされる。ここで、各系統の構成部品の数メートル程度の光路長、配置、温度環境等が異なることにより、光多重部 9 で等間隔に配置されるはずの多重化パルス信号の時間位置関係が相互にゆらぐという問題である。

【0071】本発明の第 2 の実施例の時間多重制御装置の構成を図 6 に示す。本例の時間多重制御装置は、信号短パルス列発生器 21、光増幅回路 (EDFA) 22-2、光分岐部 48、変調器 49、遅延調整器 50、光分岐部 51、ピグテール 52、光結合器 53、和周波光受信器 54、半固定遅延部 55、可変遅延回路 56、光多重部 57、光パルスタイミング検出回路 58 を有す

る。

【0072】信号短パルス列発生回路21から出力される光パルスが光増幅回路(EDFA)22-2を通り、光分岐部48で複数に分岐され、この分岐されたそれぞれの光パルスに伝送情報により変調器49で変調が施され、複数系統の光パルスb、c、d…とされる。このように光分岐部48が複数系統の光パルスにそれぞれ分岐し、それぞれの光パルスのタイミングを光パルスタイミング検出回路58において検出する。分岐数(M)分の光分岐部51および半固定遅延部55のグループは前段の光分岐部48から導かれた複数系統のうち1つの光パルス列を基準パルス列とし、残りM-1の複数系統から分岐した光パルス列を信号パルス列とする。光結合器53はその基準パルス列と光パルス列のそれぞれを重ね合わせて和周波光受信器54へ送る。和周波光受信器54はそれぞれ和周波発生結晶54-1、レンズ54-2、光受信器54-3とを備える。光パルスタイミング検出回路58は分岐数(M)分の和周波光受信器54から出力される相互相関信号により、光分岐部48で分岐された複数系統のそれぞれの光パルスのタイミングを検出する。各可変遅延回路56は、複数系統の光パルスが時間多重する際に等間隔で配置されるように、それぞれの光パルス経路に挿入され、光パルスタイミング検出器58から出力される位置検出信号に応じて光パルスの遅延時間を設定することで、上記複数系統の光パルス列が等間隔で時間多重されるようにフィードバック制御する。

【0073】光パルスタイミング検出回路58は、前述の図5で示したように、時間位置により特徴的に受信される相互相関信号(誤差電圧)の適当な位置(電圧値)にしきい値を設定し、そのしきい値以上と以下とで可変遅延回路56の動作方向を逆に動かす。本例のシステムは、このような単純な命令系統で動作可能なため、計算機は必要とせずに各々に信号レベルを識別する弁別IC(集積回路)を設ければ十分であり、制御系はきわめて簡潔・廉価に構成できる。

【0074】また、基準・信号パルス間の重なり成分を比較する本例の和周波光受信器54は、和周波光を発生するKTP結晶54-1と、2光子吸収電力を増幅するAPD受信器54-3の光電面との両方で高い光子密度を得ることができるので、レンズ54-2で2度焦点を結び、高い受信感度を廉価に達成できる。

【0075】また、光合波器53を通過以後の基準・信号パルス間の相対位置関係は一意に決定される。その後、冗長な光回路を経由して和周波光受信器54への到達タイミングがドリフトしても、その基準・信号パルス間の相対位置関係は変化しない。よって、さらに受信感度を高める手段として光増幅器(図示しない)を光結合器(光カプラ)53と和周波光受信器(SHG素子)54の間に挿入することができる。

【0076】(第3の実施例)さらに、パルスタイミング検出回路の構成としては本発明の第1の実施例よりも高効率な構成も考えられる。この具体例として、本発明の第3の実施例の光時分割多重装置の構成と信号出力例を図7に示す。本実施例では、信号短パルス列発生回路21に、第1の実施例の図4とほぼ同様の構成の元パルスタイミングドリフト制御系と、第2の実施例の図6とほぼ同様の構成の多重パルス間タイミング制御系とを直列に接続させている。元パルスタイミングドリフト制御系は、光分岐部60、EDFA等の長尺部品61、可変遅延回路62、光分岐部63、半固定遅延部64、遅延制御回路65、和周波光受信器66、および光合波器(PBS)67を有する。和周波光受信器66はそれぞれ和周波発生結晶66-1、光フィルタ66-2、光受信器66-3とを備える。多重パルス間タイミング制御系は、光分岐部68、変調器69、遅延調整器70、光分岐部71、ビッグテール72、光合波器(PBS)73、和周波光受信器74、半固定遅延部75、可変遅延回路76、光多重部77、光パルスタイミング検出回路78を有する。和周波光受信器74はそれぞれ和周波発生結晶74-1、光フィルタ74-2、光受信器74-3とを備える。

【0077】第3の実施例においては、光分岐部60、71により分岐された基準光パルス列と、63などより分岐された信号光パルス列を、光合波器(PBS)67、73において、互いに直交する偏光方向により合波するため、和周波光を発生させる手段として、主軸が異なる偏光方向の2波で和周波光を発生させるタイプ2型の結晶(たとえばAANP)を和周波光受信器66、74に用いることができる。その場合、光合波器67、73における光フィルタ74-2による基本光波長のパルス信号の遮断によって、同時に2光子吸収信号の遮断よりも、高い信号・雑音比のモニタ信号を得ることができる。

【0078】なぜなら、図4の第1の実施例においては、一方の偏光方向に合致した光のピークパワーが十分大きければ、2つのパルスの重なり合わせが無くても第2次高調波光が発生するため、図5に示すように、相互相関成分が無い場合でも和周波光受信器の信号が観測され、この揺らぎが比較信号、ひいてはタイミング制御信号の精度を劣化させる背景雑音となる。

【0079】しかし、第3の実施例の構成においては、直交する2つのパルスの相互作用として初めて和周波光が発生し、片方の偏光の信号単独では、和周波光信号は発生しない。よって、パルス間の重なり成分が無い場合、タイプ1では無視できなかった各単独パルスごとに発生する第2次高調波光による雑音が格段に抑圧され、高S/N比の検出が可能となる。

【0080】図8に第3の実施例の構成における、基準・信号パルス列間の重なり時間位置関係と受信器出力強



度の関係を示す。本構成では66-2, 74-2のフィルタで基本波光をカットしているため、光受信器66-3, 74-3は2光子吸収の効果を考慮する必要が無い。そのため、量子効率はAPDよりも小さいが電子増倍率がきわめて大きい光電子増倍管などの受光素子を光受信器66-3, 74-3として用いることができる。また、本構成においてはPBS67, 73で基準パルス列と信号パルス列を合波する際に、直交する異なる偏光を用いるため、結合損失は原理的に0にすることができるため、この点においても第1の実施例よりも光パワー損失が少なく、高S/N比が得られる。このような部品の巧みな構成により第3の実施例に示すような高い信号・雑音比を持った受信器が初めて実現する。

【0081】上述した第1, 第3のいずれの実施例においても、受信信号の時間遅延を示す信号は超高速の光パルスによる光起電力であるが、繰り返すパルス列相互の位置関係はビットごとには変動しないので、光受信器66-3, 74-3の応答帯域は低くてよい。すなわち、光受信器66-3, 74-3の応答帯域は、信号の長時間平均値の変分を観測し、光路長制御回路(可変遅延回路)62, 76に信号を出せる程度の100Hz以下で十分である。よって、低速ではあるが受信感度の高い光電子増倍管やAPD受信器など廉価な部品で光受信器66-3, 74-3を構成することが容易である。

【0082】和周波光生成に用いられる光非線形材料66-1, 74-1で、高い変換効率を得るためには結晶内を長く伝搬する必要がある。一般には最も効率の良い面方位であるD33方向においては、伝搬常数のミスマッチにより急速な位相不整合が生じ、長く相互作用させることは難しい。そこで、イオン注入などの処理により周期的に群速度分散を補正することにより、高い効率を保ったまま長い相互作用長を維持できる。このような疑似位相整合(QPM)を用いて、入射光に対して閉じこめの良い光導波路を構成すれば、第1の実施例などで説明した平板結晶を用いる場合よりも高い相互作用効率と光密度が得られる。このような非線形素子を用いることによってネットワークに用いられる光ファイバともモード結合効率がよく、受信感度も良い選別光受信器(和周波光受信器)66, 74の提供が可能となる。

【0083】(第4の実施例)図9に、本発明の第4の実施例の構成を示す。本実施例においても、基準パルス列を用いて、信号パルス列の時間揺らぎをモニタする手法は上記第1~第3の実施例と同じである。

【0084】本実施例の光時分割多重装置は、信号短パルス列発生回路21、光増幅回路(EDFA)80、分岐部81、変調器82、遅延調整器83、光分岐部84、ビッグテール85、半固定遅延部86、光チャンネル選択回路87、出力固定光増幅器88、光結合部89、和周波光受信器90、信号比較部91、電気選択回路92、可変遅延回路93、遅延制御回路94、選択タ

イミング制御器95、および光多重部96を有する。

【0085】光結合部89、和周波光受信器90、入力値をしきい値と比較する信号比較部91、および選択タイミング制御器95とにより光パルス相互相関受信部97が構成される。また、この光パルス相互相関受信部97および光分岐部84、ビッグテール85、半固定遅延部86、光チャンネル選択回路87、出力固定光増幅器88、電気選択回路92、遅延制御回路94とにより光パルスタイミング検出回路98が構成される。

【0086】第2の実施例のように複数の系統ごとに個々のパルスタイミング検出回路を設置する場合には、分岐数、構成規模が大きくなった場合に、検出装置相互の光感度やファイバ長誤差、電氣的しきい値のばらつきなどに関し、個体差や部品点数の増加が問題になってくる。この点を解決する具体的手段を以下に説明する。

【0087】信号パルス1, 2, 3, ..., Mのパルスタイミングの揺らぎをそれぞれ検出するため、1組のパルスタイミング検出回路を使用する。すなわち、光分波器84により分岐された光パルス信号のうち、1系統を基準パルス列として用いる。比較すべき系統のパルス列が光チャンネル選択回路(多対1光スイッチ)87により選択されて、光結合部89で基準パルス列たる1系統のパルスと結合し、光受信器90に到達する。これにより、電気選択回路92で選択された系統のタイミングの揺らぎが観測され、連動した遅延制御回路94でそのタイミングの揺らぎが補正される。

【0088】光チャンネル選択回路87および電気選択回路92を介して順次3, 4, ..., M系統の遅延揺らぎの検出し、遅延制御回路94での補正を繰り返す。温度変化等起因する光路の伸縮、タイミングの変動は一般に光チャンネル選択回路87の動作速度よりも十分にゆっくりしているので、選択されていない系統の遅延揺らぎの変動は順次回ってくる制御により十分早く補正できる。これにより、光時分割多重装置の構成と部品点数を簡略化することができる。

【0089】この光チャンネル選択回路87としては、半導体光増幅器アレーをゲートとして用いたスイッチアレー(図示しない)を用いているが、ほかにもPLC(Planar Lightwave Circuit; 石英系光波回路)導波回路の結合率変化による選択光スイッチなど様々なものが考えられる。また、本構成では、光パルス結合器(光結合部)89だけでなく、利得安定化光増幅器80などの周辺装置も1組あれば十分であり、この点でも省力化の効果が大きい。半導体光増幅器アレーを光チャンネル選択回路87として用いる場合は、以下に記述の出力固定光増幅器88の機能も兼ねることができる。

【0090】信号の時間位置の検出は、図5で既に示した様に、信号比較部91において、ピークのある相関出力の中間に設定した適当なしきい値と和周波光受信器9



0の出力との比較でおこなう。設定しきい値との関係の変化を光路長の調整量に帰還させるので、入力系統の切り替え等による平均光強度の変動は、遅延の変動と認識されて誤作動するおそれがある。特に、和周波光受信器90において2次の光非線形現象を用いている本構成では、入力光強度の2倍の変動は、受信信号の4倍の変動となる。繰り返し(ビットレート)の変動でも同様な影響が避けられない。そこで、本実施例では、入射信号の平均強度の変動を抑える利得調整光増幅器(AGC-Amp)を出力固定光増幅器88として配置することにより、信号パルス列の運用条件の変化による入射光強度変動、ひいては受信強度の変動を抑える機構を設けている。

【0091】(第5の実施例)図10は図2の本発明の第2の実施形態に対応する本発明の第5の実施例の構成を示す。ここでは、前述の2つのパルス時間位置揺らぎの問題のうち第1の課題に対応を施した場合の例を述べる。第1の課題とは100m程度の長尺ファイバ部品によるパルス幅、強度調整部の挿入による信号変調部前のパルスタイミングの大きな変動である。

【0092】ここで、基準光パルス列発生回路23には、電気的に信号光と同期した半導体モード同期レーザを導入し、信号光パルス列と基準パルス列を受信部分に導入する光結合部34としては偏光保持型のファイバ結合器(カブラ)を用い、パルス同士の偏光分離部35としてはビームスプリッタ(PBS)を用い、重なり成分を観測する光パルス相互相関受信部32としては、偏光分離部(PBS)35と、和周波光発生光学結晶である誘電体KTPまたはLiNbO3結晶と、半導体の薄膜アバランシェフォトダイオード(APD)からなる1対の和周波光受信器36, 37から構成している。この誘電体結晶36-1, 37-1と半導体受信器36-3, 37-3の間に集光用レンズ36-2, 37-2を挟み込み、2つの構成部分を張り合わせることににより、きわめてコンパクトなパルス重なり成分受信器が実現する。

【0093】この和周波光受信器36, 37が受信した信号の増減を信号比較部38で検出し、この検出信号を遅延制御用の信号として用いるパルスモータ型の光遅延制御回路31が付属している。図10では基準光パルス列として、電気的に同期した別光源を用いているが、信号光源(信号短パルス列発生回路)21の出射口付近で分岐したパルスをそのまま、基準パルス列として用いることももちろん可能である。

【0094】本発明に係る光パルス相互相関受信部32に入射するパルス信号の多くは和周波光受信器36, 37の誘電体結晶36-1, 37-1において和周波光信号に変換されるが、ここで変換しきれなかった部分は基本波長に透明な半導体受信器36-3, 37-3の受光面上に焦点を結ぶように光学系(集光レンズ)36-2, 37-2を設定する。

【0095】APDやpin受信器などの半導体光受信器36-3, 37-3中では、本来バンドギャップエネルギーで規定される波長よりも低エネルギーの波長を持つ光信号に対しては、感度を持たない。しかし、信号ピーク強度が著しく高い場合は、受信器光電面付近で2光子吸収現象により光起電力が生じる。この電流も、和周波光信号の受信と同じく信号強度の自乗で増加するため、選択的な信号受信感度に寄与する。第5の実施例においては、基準パルス列と、信号パルス列を互いに一致する偏光方向により合波するため、和周波光発生光学結晶である誘電体KTPまたはLiNbO3結晶などを用い、さらにAPD受信器光電面上に再集光することにより2光子吸収電力も和周波信号も区別無く加算して、信号感度を得ることができる。

【0096】光パルス分離部33により2つに分離された基準光パルス列の中心時間位置を基準として、信号パルス列の時間位置が前後した場合の受信器36, 37の出力の変動を示したものを図11に示す。比較信号の基準点を図11の0点(Just)に設定した場合は、信号パルスの遅延が増加+すると図10中で示した受信器36(A)の和周波光の出力が増加し、同時に受信器37(B)の和周波高出力が減少する。信号比較部38が仮にこの受信器A, Bの出力の差分を比較する場合には、正の出力(制御信号)を出す。他方、信号パルスの遅延が減少すると、受信器Aの和周波光の出力が減少し、同時に受信器Bの和周波高出力が増加し、信号比較部38は負の出力(制御信号)を出す。

【0097】信号比較部38の比較出力が負の場合は、重なり成分を増やす方向に光遅延制御回路31はパルスモータに命令を出し、信号比較部38の比較出力が正の場合は、重なり成分を減らす方向に光遅延制御回路31はパルスモータに命令を出す。これにより、光遅延制御回路31は信号比較部38の出力信号の正負を判断するだけで、安定した遅延位置を維持する。

【0098】和周波を利用した計測装置のパルス時間分解能は、一般には半値幅で数100フェムト秒程度(ただし、利用する結晶の厚みにより若干異なる)である。しかし、信号比較部38でパルス間の重なりを増減、つまり差分等を識別する信号なら、絶対値でなく変分を評価すれば良いので、100フェムト秒以下の高分解能が可能となる。基準パルス列及び信号光パルス列は各々高い尖頭値をもつため、パルス間の重なりが無い場合でも個々のパルス自身に依存する和周波光信号がある程度発生し、信号対雑音比をやや低下させる。

【0099】前述の図5中で示す、検出範囲(高精度検出範囲)を越える位置ずれにより、パルス間の時間位置が遠く離れた場合や、重なり位置が逆転した場合は正しい位置の瞬時の検出は困難になる。しかし本発明では、もともと設定位置からのゆっくりとしたドリフトを想定して、劣化が顕著になる以前に、信号の品質安定を維持

できる範囲で修正を施すことを目的としているので、高精度であればその検出範囲はパルス幅の数倍程度の時間領域で十分である。

【0100】ところで、基準パルス列や信号パルス列の光強度がわずかに変化しても、信号ピーク強度の自乗に比例する和周波光出力は大きく変化する。入力系統の切り替え等による平均光強度の変動は、遅延の変動と認識され、誤作動するおそれがある。特に、2次の光非線形現象を用いている本発明の構成では、入力光強度の2倍の変動は、受信信号の4倍の変動となる。繰り返し（ビットレート）の変動でも同様な影響が避けられない。しかし、本実施例では、2つの和周波光受信器36, 37により2つの受信信号の変分をモニタしているので、例えそのような場合でも信号比較部38から出力される遅延制御信号は誤動作しない。

【0101】ここでは、光遅延制御回路31は、図1.1から明らかなように、時間位置により特徴的に受信される2つの相互相関信号の適当な比較式（たとえば差分）を設定し、それ以上と以下で可変遅延回路の動作方向を逆に動かすという単純な命令系統で動作可能なため、計算機は必要とせず、各々に信号レベルを識別する弁別ICを設ければ十分であり、制御系はきわめて簡潔・廉価に構成できる。

【0102】また、基準パルス・信号パルス間の重なり成分を比較する受信器36, 37は和周波光発生するKTP結晶36-1, 37-1と、2光子吸収電力を増幅するAPD受信器36-3, 37-3の光電面の両者で高い光子密度を得るため、レンズ36-2, 37-2で2度焦点を結び、高い受信感度を廉価に達成している。

【0103】また、光結合部34を通過以後の基準パルス・信号パルス間の相対位置関係は一意に決定される。その後、冗長な光回路を経由して到達タイミングがドリフトしてもその相対位置関係は変化しない。従って、さらに受信感度を高める手段としてEDFA（光増幅器）を光結合部34と和周波光受信器36, 37との間に挿入することができる。

【0104】（第6の実施例）本発明による光パルスタイミングの検出と安定化の手法は、前述の時間位置ゆらぎの第2の課題についても解決できる。この場合の具体的な対策を本発明の第6の実施例として以下に説明する。この第2の課題は、図16の従来例の光パルス多重制御において、信号短パルス列発生回路1から出力される光パルスが分岐部4で複数に分岐され、この分岐されたそれぞれの光パルスに伝送情報により変調器5で変調が施され、複数系統の光パルスb, c, d, ... とされる。ここで、各系統の構成部品の数メートル程度の光路長、配置、温度環境等が異なることにより、光多重部9で等間隔に配置されるはずの多重化パルス信号の時間位置関係が相互にゆらぐという問題である。

【0105】本発明の第6の実施例の光パルスタイミン

グ検出回路と光時分割多重装置の構成と出力信号例を図12に示す。図12において、前述の図7と同様な構成要素には同一符号を付した。ここで、100は分岐数(M)分の光パルス相互相関受信器、101は分岐数(M)分の信号比較部、102は一对の和周波光受信器である。

【0106】本実施例の装置は、複数系統の光パルスをそれぞれ分岐し、それぞれに光パルスタイミング検出するための分岐部71と、複数系統の光パルスが時間多重する際に等間隔で配置されるようにそれぞれの光パルス経路に挿入された遅延時間を可変にすることのできる半固定遅延部70と、分岐部71により導かれた複数系統のうち1つの光パルス列を基準パルス列とし、残りM-1の複数系統から分岐した光パルス列を信号パルス列とし、その基準パルス列と信号パルス列のそれぞれを重ね合わせる分岐数(M)分の偏光ビームスプリッタ(PBS)からなる光合波器73と、各光合波器73の出力光を入力する和周波光発生結晶、レンズ、光受信器を備えた分岐数(M)分の和周波光受信器からなる光パルス相互相関受信部100と、光パルス相互相関受信部100から出力される相互相関信号によりパルスタイミングを検出する分岐数(M)分の信号比較部（光パルスタイミング検出回路）101と、信号比較部101から出力される位置検出信号によりフィードバック制御する可変遅延回路76とを具備することにより、複数系統の光パルス列が等間隔で時間多重されるように図ったものである。

【0107】本実施例においては、偏光ビームスプリッタからなる各光合波器73により基準パルス列と、信号パルス列とを互いに直交する偏光方向により合波するため、2倍高調波を発生させる手段として、主軸が異なる光の和周波で2倍高調波を発生させるタイプ2型の結晶（たとえばAANP）を上記和周波光発生結晶として用いている。その場合、第5の実施例の場合に問題となった重なり成分が無い場合のSHG（2次高調波）信号出力を原理的に0にできる。さらに、光合波器73でフィルタにより基本パルス列の信号を遮断した場合は、直交するパルス間の相互相関成分しか受信しないため、高い信号・雑音比のモニタ信号を得ることができる。

【0108】図13に本構成における、基準・信号パルス列間の重なり時間位置関係と2つの受信器A, Bにおける出力強度の関係を示す。本構成においては基準パルス列と信号パルス列を合波する際に、直交する異なる偏光を用いているため、偏光ビームスプリッタを用いて合波した場合、結合損失は原理的に0にすることができる。

【0109】その場合、位相整合条件により高い信号・雑音比のモニタ信号を得ることができる。なぜなら、第5の実施例においては、タイプI位相整合条件（入射する2つの基本光パルスの偏光が互いに平行の場合に効率

よく和周波光または第2次高調波光（SHG）が発生すること）の非線形光学材料を用いているため、基準光パルスと信号光パルスの重なりあわせが無くても基準光パルス（または信号光パルス）の第2次高調波光が発生する。この第2次高調波光が背景雑音光となり、信号比較部101から得られる比較信号の検出精度およびタイミング制御の確度を劣化させる。しかし、第6の実施例の構成においては、タイプII位相整合条件（入射する2つの基本光パルスの偏光が互いに直交の場合に効率よく和周波光または第2次高調波光（SHG）が発生すること）の非線形光学材料を光パルス相互相関部100に用いている。そのため、光パルス相互相関部100に偏光方向が直交する基準光パルスと信号光パルスの両方が入射する場合は和周波光が発生するが、基準光パルスまたは信号光パルスの一方のみが入射する場合は和周波光もSHGも発生しない。従って、第6の実施例の構成では、パルス間重なり成分が無い場合、タイプ1では無視できなかった各単独パルス毎に発生するSHG出力信号による雑音が格段に抑圧され、高S/N比の検出が可能となる。

【0110】また、波長フィルタによる基準光パルス列及び信号光パルス列の遮断により、2光子吸収の効果を考慮する必要が無いため、量子効率はAPDよりも小さいが電子増倍率がきわめて大きい光電子増倍管（フォトマルチプライヤー：PM）などの高感度な受光素子を光パルス相互相関受信部100に用いることができる。また、本構成においては基準パルス列と信号パルス列を合波する際に、直交する異なる偏光を用いるため、結合損失は原理的に0にすることができるので、この点においても第5の実施例よりも光パワー損失が少なく、高S/N比が得られる。このような部品の巧みな構成により本実施例に示すような高い信号・雑音比を持った受信器は初めて実現する。

【0111】第5、第6のいずれの実施例においても、光パルス相互相関受信部100から出力する時間遅延を示す信号は超高速の光起電力であるが、繰り返すパルス列相互の位置関係はビットごとには変動しないので、受信部100の帯域は信号の長時間平均値を観測し、光路長制御回路の信号比較部101に信号を出せる程度の100Hz以下の出力で十分である。よって、本実施例の回路および装置は、低速ではあるが受信感度の高い光電子増倍管やAPD受信器など廉価な部品で構成することが容易である。

【0112】和周波生成に用いられる光非線形材料は高い変換効率を得るためには結晶内を長く伝搬する必要がある。一般にはもっとも効率の良い面方位であるD33方向においては伝搬常数のミスマッチにより急速な位相不整合が生じ、長く相互作用させることは難しい。そこで、イオン注入などの処理により周期的に群速度分散を補正してやることにより、高い効率を保ったまま長い相

互作用長を維持できる。このような疑似位相整合（QPM）処理を施した結晶を用いて、入射光に対して閉じこめの良い光導波路を構成すれば第5の実施例などで説明した平板を用いる場合よりも高い相互作用効率と光密度が得られる。

【0113】上記QPM結晶を時間分解計測を行うオートコリレータ等で利用する場合は、パルスを空間的に異なる方向から交差させて、その重なり部分の出力を検出する。その場合、QPM結晶では相互作用時間が長いので、計測パルスの重なり位置タイミングの曖昧さにより波形劣化が起こり時間分解能が著しく低下する。しかし、本実施例のようにパルス間の時間位置を光結合器73で固定した後、同じ光軸でパルスを注入して相対位置関係に依存した和周波出力強度の増減を比較する場合には、その時間分解能の低下は著しくない。一方、光感度は結晶の長尺化に伴い著しく増強される。このような非線形素子を用いることによって、ネットワークに用いられる光ファイバに対してもモード結合効率がよく、受信感度も良好な選別光受信器の実現が可能となる。

【0114】（第7の実施例）さらに、複数の系統ごとに個々のパルスタイミング検出回路を設置する場合は、同様の系統を増設する際の冗長性には優れる。しかし、分岐数、構成規模が大きくなった場合に、検出装置相互の光感度やファイバ長誤差、電気的しきい値のばらつきなど個体差や部品点数の増加が問題になってくる。この点を解決する具体例としての本発明の第7の実施例を図14を参照して説明する。

【0115】図14において、前述の図9と同様な構成要素には同一符号を付した。ここで104は光パルス分離部、105は光パルス相互相関受信部である。

【0116】本実施例では、信号パルス1、2、3、...、Mのパルスタイミング揺らぎをそれぞれ検出するため、光パルスタイミング検出手段として1組の光パルス相互相関受信部105を使用する。光分岐部84により分岐された光パルス信号のうち1系統を基準パルス列として用いる。比較すべき2系統のパルス列が光チャンネル選択回路（多対1光スイッチ）87により選択され、光結合部87で基準パルス列とその選択された1系統のパルスとを結合し、結合されたパルス光が複数の和周波光受信器を持つ光パルス相互相関受信部105に到達する。

【0117】光パルス相互相関受信部105からの出力信号により信号比較部91で、光チャンネル選択回路87で選択された系統のパルスタイミングの揺らぎが観測される。信号比較部91での検出結果は、選択タイミング制御器95のタイミング制御により電気選択回路92を介して当該チャンネルの遅延制御信号として可変遅延回路93へフィードバックされる。この選択タイミング制御器95のタイミング制御に応じて、順に3、

4、...、M系統の遅延揺らぎの検出、補正を繰り返す。

【0118】温度変化等に起因する光路の伸縮、タイミングの変動は、一般に光チャンネル選択回路87の動作速度よりも十分にゆっくりしているの、選択されていない系統の遅延揺らぎの変動は順次回ってくる制御により十分早く補正できる。これにより、光時分割多重装置の構成と部品点数を簡略化することができる。この光チャンネル選択回路87としては半導体光増幅器アレーをゲートとして用いたスイッチアレーを一例として用いているが、ほかにもPLC導波回路の結合率変化による選択光スイッチなど様々なものが考えられる。また、本構成では、光結合部89だけでなく、信号比較部91、光増幅器（図示しない）などの周辺装置も1組あれば十分であり、この点でも省力化の効果が大きい。半導体光増幅器アレーを光チャンネル選択回路87として用いる場合は、光増幅器の機能も兼ねることができる。

【0119】（その他の実施例）光パルスの相互相関成分を時間位置計測に用いるという原理は同じであるが、パルス間の重なり成分の増減を受信する手段は、前述した本発明の各実施例で例示した和周波光発生や2光子吸収電力の発生に限らない。例えば、信号パルス列とは別に基準パルス列を設ける場合で、その基準パルス列の波長が信号パルス列の波長と異なるならば、光結合部でパルス間合成を行った後、半導体光増幅器などの光非線形媒質（図示しない）に信号パルス列と基準パルス列の両パルス列を入射することによって、相互のパルスの波長関係で決まる一定波長（例えば、基準パルス波長 $1(w_1)$ 、信号パルス波長 $1(w_2)$ の場合は4光波混合出力波長 $1(2w_1-w_2)$ 、または $1(2w_2-w_1)$ ）に相関信号が得られる。波長選択フィルタ（図示しない）で4光波混合出力のみを受信すると、和周波光と同じ信号の増減の特性をもつため、和周波光発生や2光子吸収電力の発生の場合と同様の効果が期待できる。

【0120】最後に、受信回路の高感度化のために利得を与える手段としては、受信前段階での光増幅器の組み込みなども考えられ、電気信号段階での増幅に限ったことではない。ここで、ファイバ型光増幅器や長尺の電気配線などの組み込みは、通常的光パルス受信においてそれ自身が遅延揺らぎ要因となり、タイミング検出の誤差要因となるのが一般的であるが、本発明では複数のパルス間の時間タイミングは光結合部（光カプラや偏光ビームスプリッタ）を通った時点で固定され、その後光路長伸縮のある増幅器を経由して受信器に導いても両者の時間位置の相対関係は変化しない。よって、本発明によればファイバ型光増幅器などの組み込みがタイミング検出精度に誤差要因を与えない。

#### 【0121】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、計測位置で2つに分離した基準光パルス列と信号光パルス列の相互の重なり成分の増減をもって、基準位置からのずれ量とその方向を特定できるので、2次の光非線型効果

に起因するただ1つの信号値を評価するだけで、あるいは2つの相互相関信号値を比較するだけで、補正すべき遅延量、補正方向（遅延を増やすか減らすか）を高精度に特定することができる。

【0122】本発明の第1の形態によれば、高速の繰返しパルスに対して、パルス列間の時間位置をパルス幅の $1/10$ 以下で検出できるが、繰返し信号各々から得られる非線形信号の平均電力を読取ればよいので、高速の光受信器や電気回路で構成する必要はない。よって、構成する光受信器や電気回路の応答速度にはタイミング検出精度は依存しない。また、本発明の第2の形態によれば、評価すべきパルス列の光強度が運用形態の変化で変動して各受信光起電力が変動しても、2つの受信器電力の相対比較をおこなっているの、タイミング検出の誤りは起きない。また、高速の繰返しパルスに対して、パルス列間の時間位置を光パルス幅の $1/10$ 以下で分離できる高い時間分解能をもつが、繰返し信号各々から得られる非線形信号の平均電力を読みとればよいので、高速の光受信器や電気回路で構成する必要はない。よって、構成する光受信器や電気回路の応答速度にはタイミング検出精度は依存しない。

【0123】また、本発明は、和周波を発生する非線形材料や、2光子吸収電力を発生する受光素子の光学応答に依存するので非常に高精度である。より広帯域の光伝送に用いられる光パルス列ほどパルス幅が短く、非線形感度や時間分解能はより向上するという拡張性を有する。

【0124】このように、本発明によれば、簡便で、低速で廉価な光・電気回路とわずかの受動光部品による構成で、高繰返しパルスの光パルスに対して高精度の時間位置の計測と揺らぎの補償ができる。また、本発明によれば、異なるビットレートにも同様な構成で容易に対応できるため、順次拡張される光時分割多重装置内で、光パルスの相対時間位置が揺らぐことのないようにフィードバック制御ができ、複数系統の光パルス列の等間隔多重配置を容易に維持することができる。

【0125】従って、本発明によれば、誤り率の低い良好な光通信システムを長期間安定に運用することができ、また、ビットレート、多重度や光パワーの変化にも対応可能なため、将来の装置内の系統数増加、伝送レート高速化等の拡張時にも安定して運用継続が容易である等の効果が得られる。

【0126】なお、本発明の概念は、短パルスになるほど有効で、繰返しパルスの高低によらず適用可能なので、光通信のみならず計測用短パルスの発生、制御等にも応用が容易である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光パルスタイミング検出回路の原理構成の第1の実施形態を示すブロック図である。

【図2】本発明の光パルスタイミング検出回路の原理構

成の第2の実施形態を示すブロック図である。

【図3】時間的に2つに分離した基準光パルス列と信号パルス列の相関の信号変動に対する応答を説明する概念図である。

【図4】本発明の第1の実施例の光パルスタイミング検出回路の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第1の実施例における基準パルス列と信号パルス列間の重なり時間位置関係と受信器出力強度の関係を示すタイミング図である。

【図6】本発明の第2の実施例の光時分割多重装置の構成を示すブロック図である。

【図7】タイプ2和周波結晶を用いた本発明の第3の実施例の光時分割多重装置の構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第3の実施例における基準パルス列と信号パルス列間の重なり時間位置関係と受信器出力強度の関係を示すタイミング図である。

【図9】QPM導波路と2光子吸収と出力固定光増幅器（光パワー補償増幅器）を用いた本発明の第4の実施例の光時分割多重装置の構成を示すブロック図である。

【図10】本発明の第5の実施例の光パルスタイミング検出回路および制御回路の構成を示すブロック図である。

【図11】本発明の第5の実施例における基準パルス列と信号パルス列間の重なり時間位置関係と受信器出力強度の関係を示すタイミング図である。

【図12】本発明の第6の実施例の光時分割多重装置の構成を示すブロック図である。

【図13】本発明の第6の実施例における基準パルス列と信号パルス列間の重なり時間位置関係と受信器出力強度の関係を示すタイミング図である。

【図14】QPM導波路と2光子吸収と選択器を用いた本発明の第7の実施例の光時分割多重装置の構成を示すブロック図である。

【図15】従来の光時分割多重装置の構成例とそのタイミング揺らぎ要因を示すブロック図である。

【図16】電氣的位相検出回路（PLL等）を多数組込んだ従来の光時分割多重装置の構成を示すブロック図である。

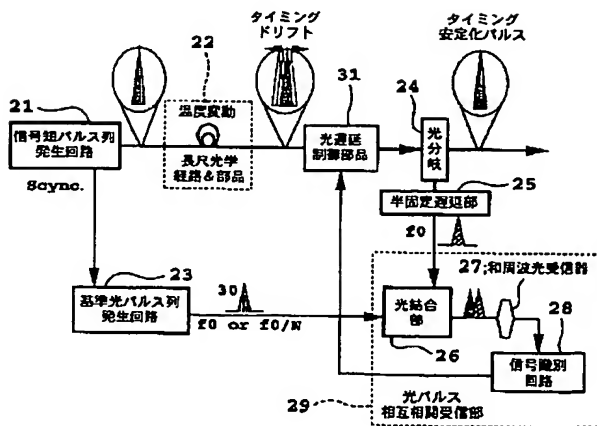
#### 【符号の説明】

- 1 信号短パルス列発生回路
- 2 パルス幅圧縮回路
- 3 光増幅回路（EDFA）
- 4 分岐部
- 5 変調部
- 6 遅延調整器
- 7 1系統
- 8 M系統
- 9 光多重部
- 10 ビッグテール

- 11 光分岐部
- 12 可変遅延回路
- 13 位相制御回路
- 15 位相比較制御回路
- 16 位相差比較器
- 17 位相検出器
- 18 周波数フィルタ
- 19 電気増幅器
- 20 光受信器
- 21 信号短パルス列発生回路
- 22 長尺光学経路&部品（温度変動部）
- 22-1 パルス幅圧縮回路
- 22-2 光増幅回路（EDFA）
- 23 基準光パルス列発生回路
- 24 光分岐部
- 25 半固定遅延部
- 26 光結合部
- 27 和周波光受信器
- 27-1 光学結晶
- 27-2 集光レンズ
- 27-3 半導体受信器
- 28 信号識別回路
- 29 光パルス相互相関受信部
- 31 光遅延制御回路
- 32 光パルス相互相関受信部
- 33 光分離部
- 34 光結合部
- 35 分離部
- 36、37 和周波光受信器
- 38 信号比較部
- 40 チャンネル分岐・変調・相互遅延制御・合波部
- 41 タイミングドリフト
- 42 信号光パルス列
- 43 基準光パルス列
- 45 光パルスタイミング検出回路
- 48 光分岐部
- 49 変調器
- 50 遅延調整器
- 51 光分岐部
- 52 ビッグテール
- 53 光結合器
- 54 和周波光受信器
- 54-1 誘電体結晶
- 54-2 集光レンズ
- 54-3 半導体受信器
- 55 半固定遅延部
- 56 可変遅延回路
- 57 光多重部
- 58 光パルスタイミング検出回路
- 59 光分岐部

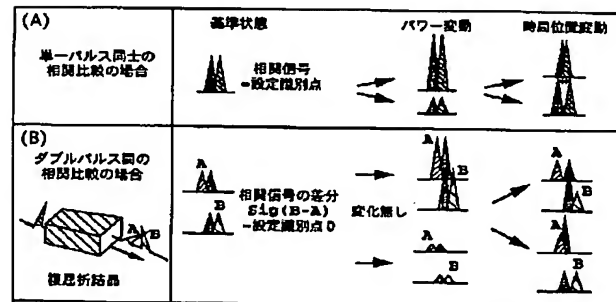
- 6 1 長尺部品
- 6 2 可変遅延回路
- 6 3 光分岐部
- 6 4 半固定遅延部
- 6 5 遅延制御回路
- 6 6 和周波光受信器
- 6 6-1 誘電体結晶
- 6 6-2 光フィルタ
- 6 6-3 半導体受信器
- 6 7 光合波器 (PBS)
- 6 8 光分岐部
- 6 9 変調器
- 7 0 遅延調整器 (半固定遅延部)
- 7 1 光分岐部
- 7 2 ビッグテール
- 7 3 光合波器 (PBS)
- 7 4 和周波光受信器
- 7 4-1 誘電体結晶
- 7 4-2 光フィルタ
- 7 4-3 半導体受信器
- 7 5 半固定遅延部
- 7 6 可変遅延回路
- 7 7 光多重部
- 7 8 光パルスタイミング検出回路
- 8 0 光増幅回路 (EDFA)
- 8 1 分岐部

【図 1】

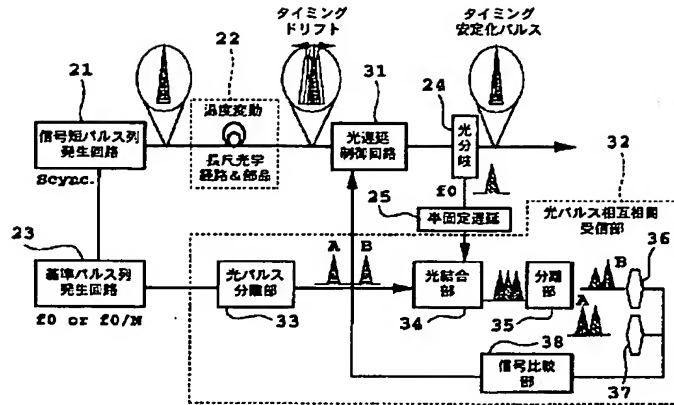


- 8 2 変調器
- 8 3 遅延調整器 (半固定遅延部)
- 8 4 光分岐部
- 8 5 ビッグテール
- 8 6 半固定遅延部
- 8 7 光チャンネル選択回路
- 8 8 出力固定光増幅器
- 8 9 光結合部
- 9 0 和周波光受信器
- 10 9 0-1 誘電体結晶
- 9 0-2 集光レンズ
- 9 0-3 半導体受信器
- 9 1 信号比較部
- 9 2 電気選択回路
- 9 3 可変遅延回路
- 9 4 遅延制御回路
- 9 5 選択タイミング制御器
- 9 6 光多重部
- 9 7 光パルス相互相関受信部
- 20 9 8 光パルスタイミング検出回路
- 1 0 0 光パルス相互相関受信部
- 1 0 1 信号比較部
- 1 0 2 和周波光受信部
- 1 0 4 光パルス分離部
- 1 0 5 光パルス相互相関受信部

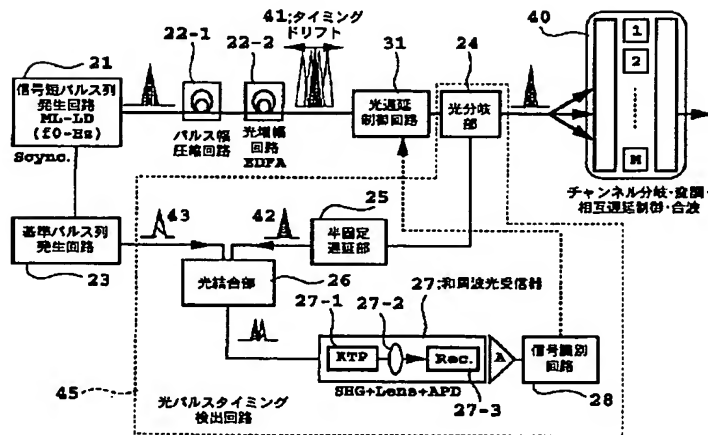
【図 3】



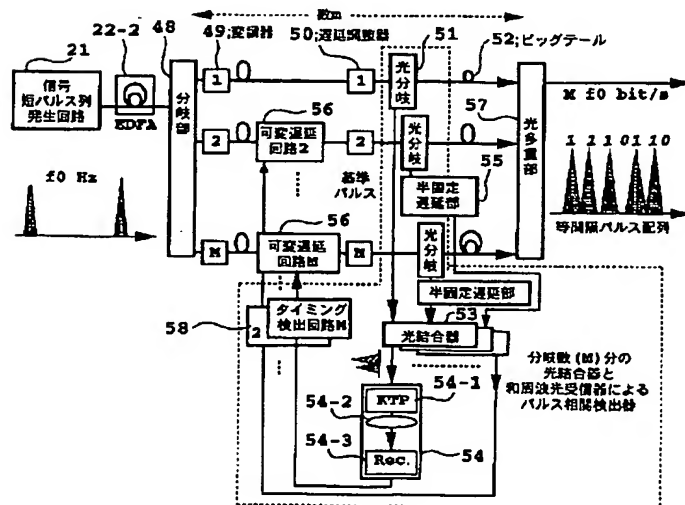
【図2】



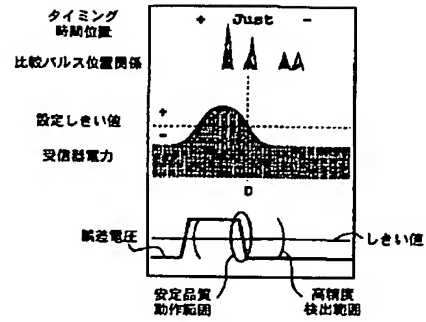
【図4】



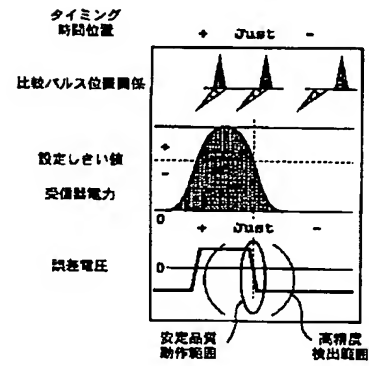
【図6】



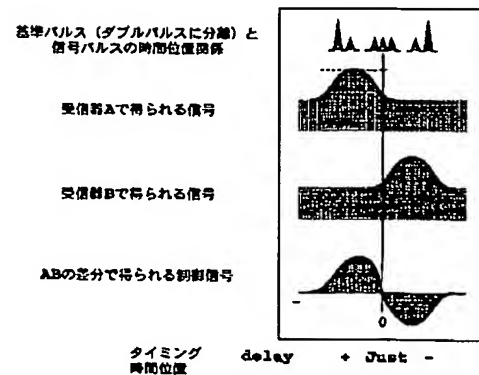
【図5】



【図8】

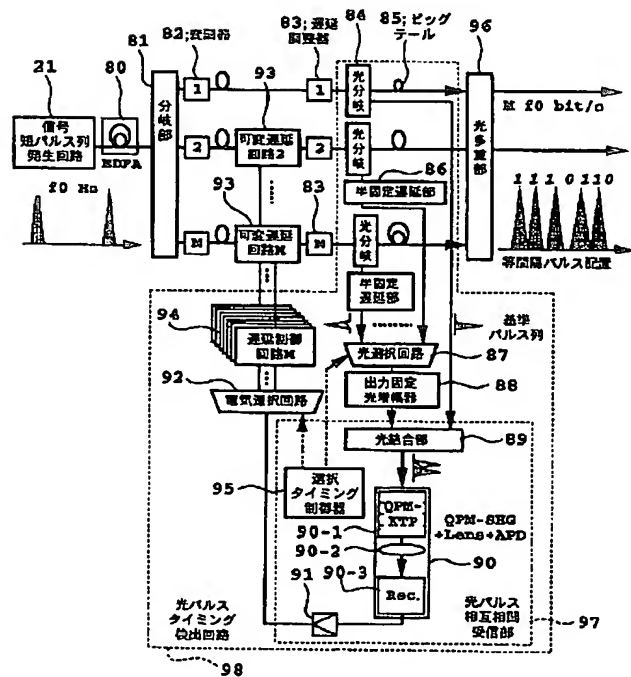


【図11】





【図 13】



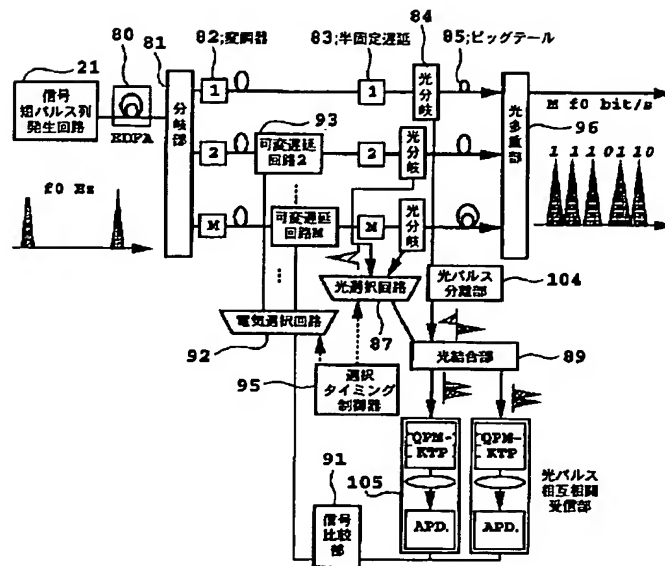
[illegible][illegible]

Figure 1 is a block diagram of a multi-channel optical transmission system. The system consists of the following components and stages:

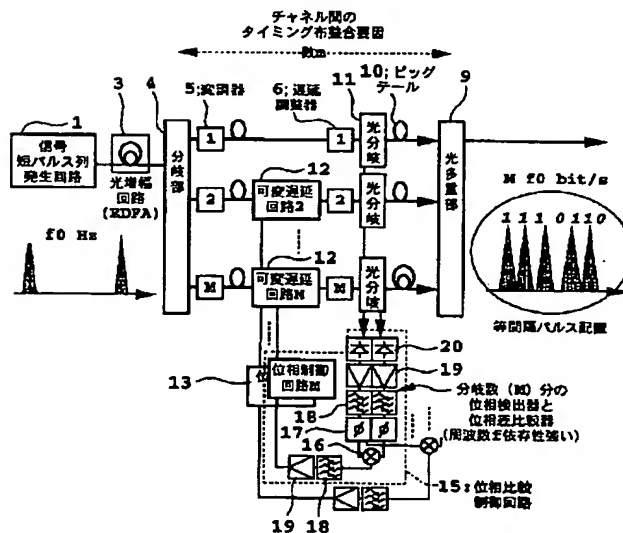
- Signal Source (1):** A signal source that generates a signal.
- Pulse Width Compression Circuit (2):** A circuit that compresses the pulse width of the signal, resulting in a 10 ns signal.
- Optical Amplifier (3, EDFA):** An optical amplifier (EDFA) that amplifies the signal.
- Splitting Unit (4):** A unit that splits the amplified signal into multiple channels.
- Channel Processing:** Each channel contains:
  - Timing Drift (5):** A component that introduces timing drift.
  - Delay Compensator (6):** A component that compensates for delay.
  - Delay Compensator (7):** A component that compensates for delay.
- Combining Unit (8):** A unit that combines the processed signals from all channels.
- Multiplexer (9):** A multiplexer that combines the signals into a single output stream.
- Output Signal:** The final output signal, labeled as 10 bit/s.
- Timing Drift (10):** A component that introduces timing drift.

The diagram also indicates a total timing drift of approximately 100 ns and a timing drift of 5 ns per channel.

【図14】



【図16】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

// G 0 1 B 11/16

(72)発明者 高良 秀彦

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 2F065 DD04 EE00 FF32 FF49 GG08  
HH09 JJ01 JJ18 LL00 LL02  
LL26 LL37 QQ00 QQ11 QQ25  
QQ27  
SK002 BA02 CA11 CA12 CA14 DA03  
FA01